

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ивановский государственный политехнический университет»

На правах рукописи

Зиновьева Екатерина Витальевна

**ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА
СТРУКТУРНО-ФИЗИЧЕСКУЮ МОДИФИКАЦИЮ И СТАБИЛИЗАЦИЮ
ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ И СМАЗОЧНЫХ ЭМУЛЬСИЙ**

Специальность: 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Заслуженный деятель науки
Российской Федерации,
Лауреат премии Правительства
РФ в области науки и техники,
академик РААСН,
доктор технических наук, профессор
Федосов Сергей Викторович

Иваново – 2016

Оглавление

| | |
|--|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 5 |
| ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ..... | 13 |
| 1.1. Водные растворы в строительном производстве..... | 13 |
| 1.2. Перемешивание и механоактивация, как способ интенсификации протекания процессов в жидких средах..... | 14 |
| 1.3. Влияние перемешивания на процессы протекания химических реакций в водных растворах..... | 19 |
| 1.4. Особенности перемешивания во взаиморастворимых и взаимосмешиваемых средах..... | 22 |
| 1.5. Аппараты, используемые для перемешивания жидких сред..... | 23 |
| 1.5.1. Виды аппаратов и перемешивающих устройств, применяемых в производстве строительных материалов..... | 23 |
| 1.5.2. Циркуляция жидкости в аппаратах с перемешивающими устройствами..... | 29 |
| 1.5.3. Распределение скоростей жидкости в процессе перемешивания..... | 33 |
| 1.6. Дисперсные системы в технологических процессах..... | 35 |
| 1.7. Агрегативная устойчивость водных систем..... | 41 |
| 1.7.1. Физико-химические факторы, влияющие на агрегативную устойчивость дисперсных водных систем..... | 43 |
| 1.8. Влияние на свойства водных систем магнитных, ультрафиолетовых и механоактивационных воздействий..... | 47 |
| 1.9. Постановка задачи исследования..... | 50 |
| ГЛАВА 2. КОНСТРУКЦИЯ РОТОРНОГО СМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С НАСАДКАМИ ТИПА КОНФУЗОР-ДИФФУЗОР И АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В НЕМ | 52 |
| 2.1. Конструкция смешивающего устройства..... | 52 |
| 2.2. Особенности гидродинамического воздействия насадки типа конфузور-диффузор..... | 53 |
| 2.3. Анализ гидродинамических явлений в конфузор-диффузоре..... | 54 |
| 2.3.1. Гидродинамические явления в конфузор-диффузоре..... | 57 |
| 2.3.2. Влияние на смешивание геометрии насадки конфузор-диффузор | 62 |
| 2.3.3. Смешивание в режиме механоактивации и проблемы теоретического исследования механоактивационных явлений..... | 64 |
| ГЛАВА 3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ..... | 67 |
| 3.1. Описание экспериментальной установки..... | 67 |
| 3.2. Система измерений и применяемая аппаратура..... | 68 |
| 3.3. Компоненты, используемые в экспериментальных исследованиях... | 71 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 3.4 | Методика проведения экспериментов на установке для перемешивания водных композиций..... | 74 |
| ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ..... | | 77 |
| 4.1. | Определение расхода энергии, затрачиваемого на перемешивание..... | 77 |
| 4.2. | Экспериментальные исследования интенсивности перемешивания воды и водных растворов различными насадками роторной мешалки..... | 79 |
| 4.2.1. | Влияние потребляемой мощности на изменение высоты воронки жидкости..... | 80 |
| 4.2.2. | Исследование влияния диаметра сосуда на интенсивность перемешивания разными насадками роторной мешалки..... | 82 |
| 4.2.3. | Влияние частоты вращения насадок роторной мешалки на время растворения хлорида натрия..... | 85 |
| 4.2.4. | Влияние типа насадки на структуру растворов перманганата калия..... | 87 |
| 4.2.5. | Влияние времени перемешивания на температуру водопроводной воды при различных частотах вращения насадок роторной мешалки..... | 88 |
| 4.3. | Результаты сравнительных испытаний насадок роторной мешалки | 90 |
| ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНЫХ СТРУКТУР И СТАБИЛИЗАЦИЯ АГРЕГАТИВНО-НЕУСТОЙЧИВЫХ ВОДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ..... | | 92 |
| 5.1. | Внутримолекулярные и межмолекулярные взаимодействия в компонентах водных систем, как основа их классификации..... | 93 |
| 5.2. | Механоактивация дистиллированной воды различными насадками роторной мешалки..... | 99 |
| 5.2.1. | Механохимические особенности процесса активации воды..... | 100 |
| 5.2.2. | Стабильность ионов гидроксония и гидроксид-ионов в воде и однокомпонентных растворах..... | 107 |
| 5.2.3. | Термодинамические закономерности устойчивости ионов воды... | 109 |
| 5.3. | Стабилизация агрегативно-неустойчивых дисперсных гомогенных композиций..... | 111 |
| 5.3.1. | Влияние конструкции насадок роторной мешалки на стабильность механоактивированных масляных эмульсий..... | 112 |
| 5.3.2. | Использование механоактивации для повышения микробиологической устойчивости строительных эмульсий..... | 120 |
| 5.4. | Диспергирование и стабилизация агрегативно-неустойчивых водных суспензий..... | 121 |
| 5.4.1. | Особенности диспергирования в воде насадками роторной мешалки..... | 122 |
| 5.4.2. | Диспергирование в воде парафина насадками роторной мешалки в режиме механоактивации..... | 129 |

| | |
|---|------------|
| 5.4.3. Влияние механоактивации на однородность и реодинамику цементного теста..... | 134 |
| 5.5. Методика оценки механоактивационной эффективности насадок роторной мешалки..... | 138 |
| ГЛАВА 6. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАСАДКИ КОНФУЗОР-ДИФФУЗОР В РАЗНЫХ ОБЛАСТЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... | 142 |
| 6.1. Микробиологическая устойчивость активируемой воды..... | 142 |
| 6.2. Влияние активированной воды на биохимические процессы..... | 143 |
| 6.3. Повышение качества и микробиологической устойчивости технологических жидкостей для механообработки металлов..... | 144 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 147 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... | 149 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ..... | 163 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время сохраняется устойчивая тенденция увеличения объемов строительства, что влечет за собой рост потребностей в широком ассортименте различных видов современных, качественных и экологически безопасных строительных материалов. В большинстве случаев при производстве таких материалов применяются различные процессы смешивания водных композиций. Смешивание водных гомогенных или гетерогенных сред, различающихся по физико-химическим свойствам, является важной стадией многих технологических процессов, как в строительном производстве [1-4], так и в химической, пищевой, фармакологической промышленности [1,2,4-11]. При этом преследуется цель создания таких структурно-физических свойств смешанных композиций, которые обеспечивают улучшение технологии получения из них изделий с заданными потребительскими свойствами.

Во многих технологических процессах строительного производства используются водные суспензии и эмульсии, примером которых могут служить как обычные строительные растворы, так и растворы специального назначения (гидроизоляционные, теплоизоляционные, применяемые в производстве железобетонных конструкций, инъекционные, отделочные...), а так же битумные эмульсии, эмульсионные смазки и т.д.

Однако их созданию обычно препятствуют явления, вызывающие коалесценцию, которая приводит к расслоению композиции [12-14]. Следствие этих явлений - потеря агрегативной устойчивости приготовленных композиций, на которые при длительном хранении дополнительное негативное воздействие нередко оказывают микроорганизмы [15].

С целью улучшения агрегативной устойчивости, как правило, в состав исходной смеси вводятся поверхностно-активные вещества (ПАВ) и ингибиторы биохимических процессов. При этом использование в качестве ингибиторов и ПАВ, сложных по строению химических соединений повышает себестоимость

изделий, и часто приводит к тому, что улучшение агрегативной устойчивости происходит за счет снижения отдельных потребительских свойств получаемых из композиций изделий [13,16]. Кроме того, агрегативная устойчивость водных строительных композиций и возможность их длительного хранения существенно зависит от дисперсности компонентов [13].

Следовательно, в настоящее время актуальной задачей исследования является создание стабильных, агрегативно-устойчивых дисперсных водных строительных композиций (эмульсий и суспензий), не использующих ПАВ и ингибиторы. Поэтому исключительный интерес представляет разработка способов и методов получения таких композиций наиболее эффективными и экономичными способами.

Хорошими возможностями влияния на структурно-физические характеристики и повышение агрегативной устойчивости водных систем обладает процесс смешивания в режиме механоактивации, так как при этом создаются условия не только для достижения требуемых значений дисперсности, а и для изменения морфологии твердых, жидких и биологически активных компонентов композиций [17-19].

Работа выполнялась в рамках реализации проектной части государственного задания РФ в сфере научной деятельности, контракт № 11.1798.2014/К по теме: «Разработка научно-технических основ технологии наноструктурной модификации полимерно-неорганических композиционных материалов для легкой промышленности и строительной индустрии», в соответствии с базовой тематикой НИР ИВГПУ.

Степень разработанности темы исследования. Теоретической основой для проведения исследования стали работы: Е.Г. Авакумова, Л.Н. Брагинского, Э.А. Васильцова, В.Т. Ерофеева, Н.Г. Зацепиной, В.В. Кафарова, К. Крокстона, Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшица, Л. Прандтля, Э.Н. Ремседена, Ф. Стренка, В.А. Уварова, Ф. Холланда, Ф. Чапмана, Н.М. Эмануэля. Анализ агрегативной устойчивости неорганических и полимерно-неорганических жидких композиций проводился с использованием подходов разработанных школами лауреатов

Нобелевской премии И. Пригожина и П. Де Жена. Информационная база – научные труды, материалы научно-технических конференций, статьи в научных сборниках и периодических изданиях по исследуемой проблеме.

В проведенных ранее исследованиях [20-22] показаны ограниченные возможности теоретического изучения проблем агрегативной устойчивости многокомпонентных жидких композиций, а практические работы по их стабилизации, как правило, основываются на трудоемких экспериментальных процедурах подбора состава композиций и ПАВ. Исследований по влиянию механоактивации воды, как одного из наиболее устойчивых химических соединений, на модификацию структурно-физических свойств и агрегативную стабилизацию многокомпонентных композиций ранее не проводилось.

Цель и задачи исследования. *Цель работы* - на основе изучения закономерностей процессов перемешивания роторными мешалками выявить возможности модификации структурно-физических состояний исходных компонентов водных систем, исследовать влияние механоактивационных явлений на устойчивость структур гомогенных и гетерогенных композиций и разработать методы стабилизации агрегативно-неустойчивых дисперсных водных композиций.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие *задачи*:

- Провести анализ результатов существующих теоретических и экспериментальных исследований влияния конструктивных и режимных параметров перемешивающих устройств существующих типов мешалок на особенности смешивания в жидких средах;
- Разработать конструкцию насадки для перемешивающего устройства роторного типа, обеспечивающую широкие возможности модификации структурно-физических свойств исходных гомогенных и гетерогенных компонентов водных композиций;
- Экспериментально исследовать влияние конструктивных и режимных параметров разных насадок на агрегативную устойчивость гомогенных и

гетерогенных водных композиций и разработать методы стабилизации водных суспензий и смазочных эмульсий.

Объектами исследования в работе являлись периодические процессы смешивания гомогенных и гетерогенных водных систем насадками разной конструкции, а так же получаемые при этом композиции.

Предметом исследования было формирование агрегативно-устойчивых дисперсных водных композиций, условий их возникновения и распада.

Научная новизна исследования:

- Показана ключевая роль ионов гидроксония и гидроксид-ионов в процессах диспергирования компонентов водных композиций, создающих необходимые предпосылки агрегативной устойчивости, и впервые при диспергировании насадкой конфузур-диффузур получена модификация исходной ленточной структуры парафина в пористый парафин;
- Изучены закономерности образования водных ассоциатов иона гидроксония H_3O^+ и гидроксид-иона OH^- в процессе механоактивации воды насадками роторной мешалки и теоретически обоснована их устойчивость при длительном хранении. Обнаружены два характерных режима образования ионов гидроксония H_3O^+ и гидроксид-ионов OH^- , отличающихся скоростями роста концентрации ионов в зависимости от скорости вращения насадок. Исследован механизм образования этих режимов и получены соотношения для значений концентраций ионов в каждом из характерных режимов. Показано, что насадка конфузур-диффузур генерирует значительно большее количество ионов гидроксония H_3O^+ и гидроксид-ионов OH^- по сравнению с другими насадками;
- Путем механоактивации без использования ПАВ получены агрегативно-устойчивые водные суспензии и эмульсии, а также доказана эффективность насадки конфузур-диффузур в процессах предотвращения биохимической неустойчивости;
- Введено понятие эффективной частоты активации и предложено использовать значение рН дистиллированной воды при этой частоте вращения ротора как

стандартный показатель в тестовых испытаниях по оценке активационной эффективности насадок мешалок роторного типа.

Теоретическая и практическая значимость работы.

- В результате анализа типовой классификации агрегативной устойчивости водных композиций показано, что она представляет собой разные агрегативные состояния для не активированных композиций. Предложена дополнительная классификация механоактивированных структур водных дисперсионных сред и дисперсных фаз, устойчивость которых зависит от концентрации ионов гидроксония и гидроксид-ионов;
- Разработаны научно-технические подходы к модификации структурно-физических свойств и стабилизации агрегативно-неустойчивых водных композиций насадкой конфузор-диффузор без использования ПАВ и ингибиторов биохимических процессов путем механоактивационного разрыва внутримолекулярных связей устойчивых молекул воды и межмолекулярных и внутримолекулярных связей дисперсных компонентов;
- Предложена новая конструкция насадки: конфузор-диффузор для перемешивающего устройства роторного типа, создающая метастабильные кавитационные состояния дисперсионной среды и получающая за счет них дополнительные механоактивационные воздействия на компоненты композиций, которые обеспечивают преимущества этой насадки по сравнению с другими насадками. Подана заявка на патент на изобретение;
- В сравнительных испытаниях насадки конфузор-диффузор с насадками других конструкций показаны преимущества создания интенсивных метастабильных кавитационных состояний дисперсионной среды в процессах диспергирования компонентов и генерирования ионов неорганических и радикалов органических соединений. Созданы научные заделы и предпосылки для проектирования опытно-промышленного оборудования;
- Получены количественные характеристики генерирования ионов гидроксония и гидроксид-ионов, и показана их ключевая роль в ион-ионных и ион-радикальных взаимодействиях по причине больших значений электростатических

потенциалов, в конкурентных процессах модификации структур водных дисперсных композиций и повышении их агрегативной устойчивости;

- Разработана методика оценки механоактивационной эффективности насадок роторных мешалок и сформулированы технические требования по созданию промышленного специализированного научно-исследовательского оборудования;
- Получены 2 заключения о возможности использования разработанной насадки конфузور-диффузор в технологических процессах стройиндустрии. Разработки апробированы на предприятиях Ивановской области: ЗАО «Железобетон» и ООО «Кварц-Строй».

Методология и методы исследования включали: изучение и аналитическое обобщение известных научно-технических результатов по рассматриваемой теме, разработку и конструирование насадки для роторной мешалки с использованием ЭВМ, экспериментальные исследования с применением современных инструментальных методов измерений, а также обработку экспериментальных данных с использованием ЭВМ.

Положения, выносимые на защиту:

- Результаты экспериментальных исследований насадки типа конфузор-диффузор в процессах модификации структурно-физических состояний исходных водных систем и стабилизации агрегативно-неустойчивых водных цементных суспензий для монолитного бетонирования и смазочных эмульсий, применяемых в производстве железобетонных конструкций для отделения опалубки;
- Закономерности образования водных ассоциатов и теоретическое обоснование их устойчивости при длительном хранении;
- Механизмы механоактивации при получении агрегативно-устойчивых водных суспензий и смазочных эмульсий при применении насадки конфузор-диффузор;
- Методика оценки механоактивационной эффективности насадок роторного типа;
- Новая конструкция перемешивающего устройства роторного типа с насадками конфузор-диффузор для активации водных гомогенных и гетерогенных композиций.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Достоверность результатов исследований обеспечена согласованностью с фундаментальными физическими и химическими теориями, использованием стандартных методов математического анализа и аттестованной измерительной аппаратурой.

Апробация результатов. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих международных и вузовских конференциях: Информационная среда вуза: Материалы XIII, XIV, XV, XVI, Межунар. н.-т. конф. ИГАСУ. - Иваново, 2006-2010 г.г., Пятая научная конференция аспирантов и соискателей ИГАСУ.- Иваново, 2007, Ученые записки инж.-строит. факультета. ИГАСУ, 2011, Круглый стол, посвященный науч. шк. Акад. РААСН, д-ра техн. наук, проф. С.В.Федосова, Иваново, 2013, Информационная среда вуза: Материалы XX Межунар. н.-т. конф. ИВГПУ, Иваново, 2013, XVIII международный научно-практический форум «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2015)» - Иваново: ИВГПУ, 2015, Межвузовская научно-технической конференция аспирантов и студентов с международным участием «ПОИСК-2015» – Иваново: ИВГПУ, 2015.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс подготовки магистров по направлению 08.04.01 «Строительство», магистерская программа «Технология строительных материалов, изделий и конструкций».

Основные положения диссертации опубликованы в журналах, рецензируемых ВАК министерства образования и науки РФ: «Вестник МГСУ» №2 2012; «Приволжский научный журнал» №4 2013; «Известия высших учебных заведений, Технология текстильной промышленности» №6 2014; «Вестник гражданских инженеров» №3 2015; «Известия высших учебных заведений, Технология текстильной промышленности» №1 2016.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 22 печатных работы из них 5 статей в изданиях, рекомендованных в перечне ВАК.

Объём и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка используемой литературы, приложений. Диссертация содержит 166 страниц машинописного текста, 55 рисунков, 6 таблиц, список литературы, включающий 149 наименований и 4 приложения.

Содержание диссертации соответствует п. 1. Разработка научных и методологических основ проектирования и создания новых машин, агрегатов и процессов; механизации производства в соответствии с современными требованиями внутреннего и внешнего рынка, технологии, качества, надежности, долговечности, промышленной и экологической безопасности, **п. 5.** Разработка научных и методологических основ повышения производительности машин, агрегатов и процессов и оценки их экономической эффективности и ресурса, **п. 6.** Исследование технологических процессов, динамики машин, агрегатов, узлов и их взаимодействия с окружающей средой **паспорта специальности 05.02.13-Машины, агрегаты и процессы (строительство).**

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Водные растворы в строительном производстве

Строительное производство относится к одному из древнейших производственных видов деятельности. При этом на протяжении всей истории человечества постоянно совершенствуются технологии изготовления традиционно используемых в строительстве материалов, а также создаются новые материалы с самыми разнообразными свойствами.

Потребительские свойства строительных материалов зависят от особенностей морфологии надмолекулярных образований, содержащихся в них, а также конформационного строения молекул и типов атомов, входящих в надмолекулярные образования. Причем природа атомов и молекул строительных материалов зависит от происхождения (для природных материалов) и технологии производства (для искусственных материалов), а морфология в значительной мере зависит от обработки этих материалов на технологических стадиях строительного производства [23-26].

При разработке строительных материалов ключевой задачей является исследование вопросов структура – свойства, а в условиях производства контроль свойств, способных обеспечить заданные технические характеристики строительных материалов [27].

Структуры строительных материалов изучаются на нескольких уровнях [26]:

- макроструктура – строение материала, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении;
- микроструктура – строение материала, видимое через микроскоп;
- структура надмолекулярных образований изучается разными физико-химическими методами: рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии, термографии и т.д. [26].

Для правильного использования материалов в строительном производстве необходимо знать их физико-химические и термо-механические свойства в

в условиях, при которых данный материал будет применяться.

Играет важную роль и занимает значительную долю в строительных технологических процессах использование водных растворов [28,29]. В зависимости от вида строительных конструкций и условий, в которых они будут работать, разрабатываются соответствующие СНиП и устанавливаются основные требования к растворам (назначение, морозостойкость, водонепроницаемость...). Среди большого разнообразия строительных растворов некоторые их виды имеют много общего, что позволяет объединить эти растворы в определенные группы.

Важнейшим свойством растворных смесей является реодинамическая подвижность и водоудерживающая способность.

Строительные растворы производят двух видов: в виде готовых растворных смесей, пригодных для употребления, и в виде сухих растворных смесей, требующих перед употреблением смешивания с водой и при необходимости со специальными добавками. Эти растворы готовят централизованно на бетонно-растворных заводах или растворосмесительных узлах. На механизированных приобъектных или передвижных установках растворы изготавливают при малых объемах работ и отдаленности централизованного производства раствора. Для приготовления строительных растворов применяются смесительные машины – растворомешалки с принудительным перемешиванием в неподвижном барабане. Кроме этого часто используются растворомешалки периодического непрерывного действия, как стационарные, так и передвижные [26,28,29]. Контроль качества технологии изготовления строительных растворов заключается в проверке качества исходных материалов, точности их дозирования и времени перемешивания.

1.2. Перемешивание и механоактивация, как способ интенсификации протекания процессов в жидких средах

Развитие современных технологий, использующих аппараты по смешиванию сред, сделало весьма актуальной проблему исследования свойств

веществ, подвергнутых интенсивным механическим воздействиям. Работы в этом направлении связаны с необходимостью получения активированных веществ со свойствами (растворимость, реакционная способность и т.д.) в значительной мере отличающимися от таковых в исходном состоянии. Применение таких активных реагентов позволяет ускорить и проводить в более мягких условиях многие производственные процессы [30,31].

Механическая энергия занимает заметное место в современных промышленных технологиях, и ее применение во многих случаях является необходимым для подготовки веществ к разным технологическим операциям. Различное сырье и материалы в огромных масштабах подвергаются механической обработке на многих предприятиях стройиндустрии и других отраслей промышленности. Наиболее распространенным и эффективным способом передачи энергии в процессах перемешивания является применение мешалок различных конструкций [17,19,32].

Изучение свойств веществ, обработанных в таких условиях, представляет, наряду с несомненно практическим, и научный интерес, так как позволяет прояснить вопросы устойчивости и стабильности их структур.

Эффективность процесса изменения свойств (химических и др.) веществ в результате механической обработки, именуемой в настоящее время механической активацией, определяется возможностями разрыва химических связей и энергетическими характеристиками устройств их осуществляющих. Значение теоретических и экспериментальных исследований явления механической активации чрезвычайно велико как для рационального конструирования активирующих устройств, так и для разработки эффективных технологий механической активации веществ, применяемых в органическом и неорганическом синтезе, процессах переработки сырья, материаловедении и т.д. [31,33,34].

Практический интерес представляет активация в условиях смешивания гомогенных и гетерогенных сред. Актуальность проблемы возрастает с учетом увеличения мощности и скорости перемешивающих устройств. В настоящее

время интенсивность перемешивания в современных аппаратах достигла значений, дающих возможность менять свойства материалов. С другой стороны, изучение физических явлений при перемешивании дает уникальные возможности выяснения роли химической связи в этих процессах.

В настоящее время существует большое количество современных перемешивающих устройств, но не существует универсального критерия, который позволил бы выбирать соответствующую мешалку для данного процесса, как следует из литературных источников [1-7,35]. Выбор мешалки определяется условиями проведения процесса и вязкостью перемешиваемой среды. Существует общее мнение [2-7,35], что для перемешивания жидкостей с низкой вязкостью пригодны высокоскоростные мешалки, а для жидкостей с большой вязкостью – тихоходные.

Турбинные и пропеллерные мешалки имеют широкую область применения, так как пригодны для перемешивания жидкостей с большим диапазоном вязкостей [2-7,35]. Остальные типы мешалок имеют более узкую область применения. Для перемешивания жидкостей с очень высокой вязкостью лучше всего приспособлены шнековые и ленточные мешалки. Для перемешивания жидкостей со средней вязкостью можно пользоваться несколькими типами мешалок. Для смешивания и диспергирования несмешивающихся жидкостей рекомендуют использовать турбинные и пропеллерные мешалки.

Наиболее распространенными и широко применяемыми в промышленности являются: турбинные, пропеллерные, лопастные, рамные, якорные мешалки, обеспечивающие высокие напряжения сдвига в перемешиваемой среде [35,36].

В основу сравнительной оценки перемешивающего устройства могут быть положены две наиболее важные характеристики [36]:

- 1 - интенсивность перемешивающего воздействия;
- 2 - эффективность в получении композиций с требуемыми свойствами.

Интенсивность перемешивания определяется числом оборотов мешалки при фиксированной продолжительности процесса или временем достижения заданного технологического результата. Мешалка будет оказывать более

интенсивное воздействие, если уменьшается время перемешивания или число её оборотов [36]. В основном, интенсивность перемешивания определяется с помощью следующих величин [36]:

- число оборотов мешалки;
- окружная скорость конца лопастей мешалки;
- критерий Рейнольдса:

$$Re_M = \frac{\rho \cdot n \cdot d_M^2}{\mu}, \quad (1.1)$$

где ρ – плотность перемешиваемой жидкости; кг/м^3 , n – число оборотов мешалки, с^{-1} ; d_M – диаметр мешалки, м ; μ – коэффициент динамической вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Эффективность перемешивающего или смешивающего устройства определяется затратами энергии, которая необходима для достижения заданного технологического результата [36]. Например, эффективность смешивания характеризуется:

- степенью равномерности распределения твердой фазы в объёме аппарата для процессов получения суспензий;
- отношением коэффициентов тепло - или массоотдачи при перемешивании и без него для интенсификации тепловых и диффузионных процессов;
- диаметром дисперсной фазы или суммарной площадью контакта фаз в процессах приготовления эмульсий.

Для экономичного проведения процесса перемешивания желательно, чтобы требуемый эффект достигался за наиболее короткое время. При оценке расхода энергии перемешивающим устройством следует учитывать общий расход энергии за время, необходимое для обеспечения заданного результата перемешивания [36].

Для определения расхода энергии используют безразмерный критерий Эйлера [36]:

$$Eu_M = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} \quad (1.2)$$

Расход энергии при механическом перемешивании определяется [36]:

$$K_N = Eu_M = C \cdot Re_M^m, \quad (1.3)$$

где коэффициент C и показатель m определяются экспериментально.

Для наиболее распространенных типов мешалок зависимость коэффициента мощности от числа Рейнольдса, представлена на рис. 1.1.

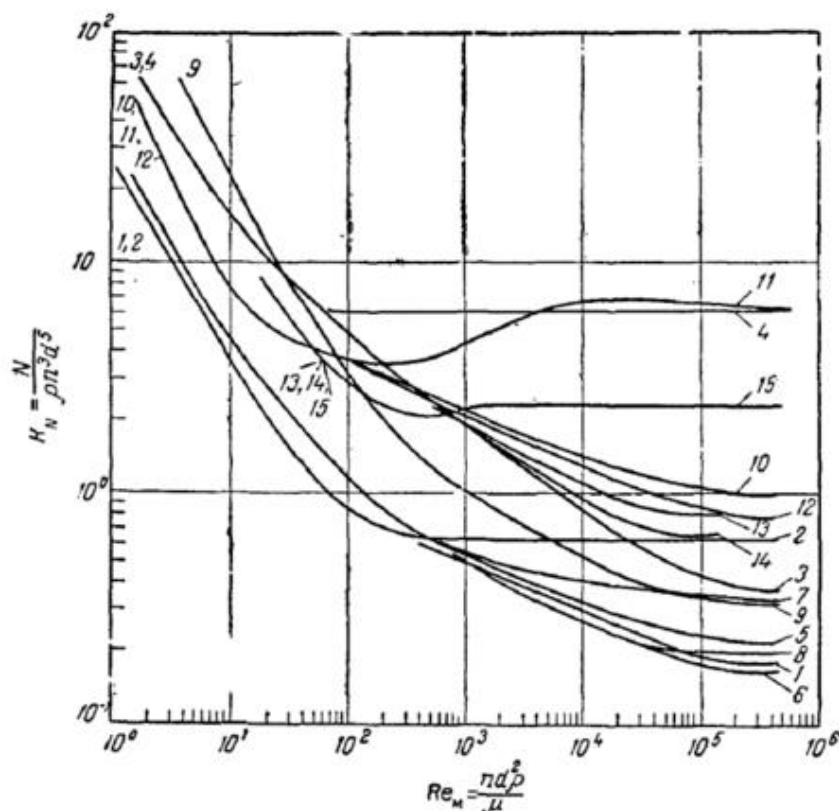


Рисунок 1.1 Зависимость критерия мощности от критерия Рейнольдса для разных типов мешалок:

1 – Лопастная; 2 – Лопастная с перегородками; 3 – Листовая; 4 – Листовая с отражательными перегородками; 5 – Пропеллерная ($d/D=0,25$); 6 – Пропеллерная ($d/D=0,33$); 7 – Пропеллерная с отражательными перегородками; 8 – Пропеллерная с диффузором; 9 – Якорные и рамные; 10 – Турбинная открытая ($d/D=0,25$); 11 – Турбинная открытая ($d/D=0,33$); 12 – Турбинная открытая с отражательными перегородками; 13 – Турбинная закрытая ($d/D=0,25$); 14 – Турбинная закрытая ($d/D=0,33$); 15 – Турбинная закрытая с отражательными перегородками.

Обозначения, принятые для характеристики мешалок: D – диаметр сосуда; d – диаметр мешалки

В строительном производстве механоактивационная обработка находит в последнее время все более широкое применение для модифицирования свойств различных материалов. При этом направленное изменение свойств обрабатываемых материалов возможно лишь при соблюдении оптимальных режимов и продолжительности процесса механоактивации [1,37].

Известно [38,39], что механоактивация есть результат накопления в материале различного рода дефектов. В тоже время оценка степени активации очень затруднена из-за сложных гидродинамических режимов течения в композициях. Расчет механоактивационных явлений может быть описан только в рамках упрощенных математических моделей [30,38,39]. В настоящее время, для изучения процессов при механоактивационной обработке, применяют в основном экспериментальные методы исследования (инфракрасная спектроскопия, радиоспектроскопия, ядерный магнитный резонанс...), но сложность применяемой при этом аппаратуры ограничивает её использование, поэтому изучается возможность использования для оценки степени механоактивации более простых методов [38,39].

1.3. Влияние перемешивания на процессы протекания химических реакций в водных растворах

Эффективность применения строительных материалов в основном зависит от технологии их приготовления. В большинстве случаев сама технология связана с необходимостью последовательного либо одновременного перемешивания компонентов. Разработка самих подходов получения агрегативно-устойчивых композиций базируется на анализе существующих процессов перемешивания в строительном производстве.

В общем случае, при гомогенной химической реакции, для того чтобы могло произойти химическое взаимодействие между двумя молекулами, прежде всего, необходимо, чтобы эти молекулы встретились. Вероятность того, что молекулы двух компонентов, находящиеся в разных местах аппарата, придут в соприкосновение, и произойдет взаимодействие, возрастает при перемешивании вплоть до того момента пока концентрация не выровняется и не достигнет среднего значения во всем объеме сосуда [6].

Дальнейшее влияние перемешивания при гомогенной реакции сказывается в том, что благодаря равномерному распределению компонентов, вступающих в

реакцию, и продуктов реакции во всем объеме аппарата предупреждаются нежелательные побочные реакции, т.к. последние в большинстве случаев происходят при местном повышении концентрации вводимых компонентов или продукций реакции.

При экзотермических процессах выравнивание температуры за счет перемешивания уменьшает возможность возникновения местных перегревов, которые также могут вызывать нежелательные реакции. Перемешивание, кроме того, ускоряет передачу тепла, что всегда важно при технологическом осуществлении химических реакций [40].

Таким образом, для гомогенных химических реакций целью перемешивания является, прежде всего, гомогенизация. Для этого типа реакций применяют мешалки с большой циркуляцией [2-5].

Для гетерогенных химических реакций перемешивание представляет собой процесс многократного взаимодействия частиц текучей среды относительно друг друга во всем объеме аппарата, происходящий под действием импульса, передаваемого среде механической мешалкой, струей жидкости или газа.

Перемешивание осуществляют в целях:

1. Обеспечения равномерного распределения твердых частиц в объеме жидкости, а также равномерного распределения и дробления до заданной дисперсности жидкости в жидкости или газа в жидкости;
2. Интенсификации нагрева или охлаждения обрабатываемых масс;
3. Интенсификации массообмена в перемешиваемой системе.

Таким образом, эффективность и интенсивность процесса перемешивания, напрямую зависит от характера движения среды в объеме аппарата и как следствие – типа перемешивающего устройства.

Следовательно, при перемешивании в среде создаются такие условия, которые более всего содействуют взаимному проникновению перемешиваемых компонентов. Простейший способ перемешивания – перемешивание в трубопроводе, где перемешивание происходит вследствие турбулентности потока. Перемешивание в сосудах применяется чаще и осуществляется путем

принудительной конвекции, т.е. в жидкости нужно вызвать такое движение, чтобы возникла турбулентность, вследствие которой будет происходить турбулентный массообмен. Нельзя достигнуть одинаково интенсивной турбулентности во всем объеме сосуда. У стенок турбулентность всегда меньше, следовательно, надо стремиться, чтобы вся жидкость прошла через зоны с интенсивной турбулентностью [41,42].

При использовании сопла струя вытекающей из него жидкости принимает форму конуса, расширяющегося по направлению от устья сопла, что вызывается следующими обстоятельствами [36]:

1. Поток жидкости, вытекающий из сопла, толкает перед собой жидкость, которая находится в сосуде перед соплом;
2. Слои жидкости, окружающие струю, вытекающую из сопла, обычно приводятся в движение, параллельное струе, вследствие того, что часть количества движения жидкости, вытекающей из сопла, передается окружающей жидкости;
3. Когда окружающая жидкость захватывается струей и приводится в движение, на какое-то время в пространстве, которое она перед этим занимала, создается разрежение.

Для перемешивания капельных жидкостей почти всегда применяют механические мешалки, которые создают в жидкости течение, вследствие которого обеспечивается ее перемешивание. Наиболее широко применяются вращающиеся мешалки, которые делятся на два типа, в зависимости от способа передачи движения жидкости [2,4,7]:

- мешалка передает количество движения за счет тангенциального напряжения в направлении, перпендикулярном направлению движения мешалки;
- передача количества движения происходит за счет давления лопаток мешалки на жидкость в направлении движения потока.

Для оценки работы различных типов аппаратов с мешалками служат гидродинамические параметры [2,4,7]:

- распределение скорости жидкости в аппарате;

- насосный эффект мешалки;
- время циркуляции;
- время перемешивания системы (время гомогенизации),

а также другие параметры, которые необходимы для расчета массообмена в аппаратах с перемешивающими устройствами:

- условия создания многофазных систем;
- межфазная поверхность;
- диаметр капель или пузырьков газа.

1.4. Особенности перемешивания во взаиморастворимых и взаимосмешиваемых средах

Перемешивающие устройства чаще всего используются для проведения различных технологических операций. Одной из таких операций является перемешивание взаиморастворимых и взаимоперемешиваемых сред. Целью таких операций является достижение заданной степени относительной неоднородности концентраций вещества или температуры среды в объеме аппарата за время гомогенизации, меньшее, чем время пребывания среды в аппарате [2,3,5].

Для перемешивания взаиморастворимых и взаимоперемешиваемых жидкостей используют различные типы быстроходных и тихоходных мешалок. При их выборе предпочтение отдается мешалке, обеспечивающей при минимальных энергозатратах, заданную степень однородности вещества.

Перемешивание в гомогенных средах обычно осуществляется для достижения заданной степени однородности поля концентраций или температурного поля в аппарате в случаях теплообмена либо смешения потоков с различной концентрацией и температурой. В литературе [5] рассматривается выравнивание концентраций как основная цель перемешивания, так как задачей перемешивания является снижение концентрационного и температурного градиента. Ряд авторов [42] для количественного сравнения интенсивности и эффективности перемешивания предлагают использовать время гомогенизации.

При проектировании аппаратов с мешалками, используемых для смешивания взаимно нерастворимых жидкостей задачей расчета служит: определение размеров капель, определение удерживающей способности аппарата по дисперсной фазе, определение коэффициентов массопередачи. Если же к этим параметрам жесткие требования не предъявляются, то расчет сводится к определению минимальной интенсивности смешивания, достаточной для распределения одной из фаз в другой [40,41,43-45].

Сам механизм дробления капель в турбулентном потоке можно представить как результат действия на каплю [46-48]:

- разности динамических напоров, деформирующих каплю;
- поверхностного натяжения, которое появляется при возникновении капиллярного давления, препятствующего деформации.

Для смешивания жидких сред, содержащих твердые частицы, используются более 50% аппаратов, применяемых в промышленности. Технологические процессы, проводимые в таких аппаратах, весьма разнообразны. Во всех случаях, однако, необходимым условием применимости аппарата служит обеспечение суспензирования частиц в объеме смешивания.

Если целью смешивания является достижение заданного перепада концентраций за минимальное время, ввод распределяемого вещества необходимо осуществлять в зону большего объема [3].

1.5. Аппараты, используемые для перемешивания жидких сред

1.5.1. Виды аппаратов и перемешивающих устройств, применяемых в производстве строительных материалов

В перемешивающей аппаратуре происходит передача механической энергии от находящихся в движении элементов аппарата к перемешиваемой среде. Перемешивающие устройства в наиболее общем случае можно разделить на быстроходные и тихоходные [2,3,7,35].

К быстроходным перемешивающим устройствам относятся турбинные и пропеллерные конструкции различных типов, а также специальные, например дисковые, лопастные и т.п. Такие перемешивающие устройства, в зависимости от формы лопастей (лопаток) и способа их установки, могут создавать осевой, радиальный и радиально-осевой (только в аппарате без перегородок) потоки жидкости [2,3,7,35].

Радиальный поток создают турбинные мешалки закрытого типа, а также открытые турбинные мешалки с прямыми или изогнутыми лопатками. Осевой поток - пропеллерные и шнековые мешалки. Промежуточный радиально-осевой поток - турбинные мешалки с лопатками, имеющими наклон к оси вращения вала. Наиболее распространенными и широко применяемыми в промышленности являются: турбинные, пропеллерные, лопастные, рамные, якорные мешалки, обеспечивающие высокие напряжения сдвига в перемешиваемой среде.

Турбинные мешалки снабжены лопатками и имеют четко очерченный ротор рис.1.2 [2].

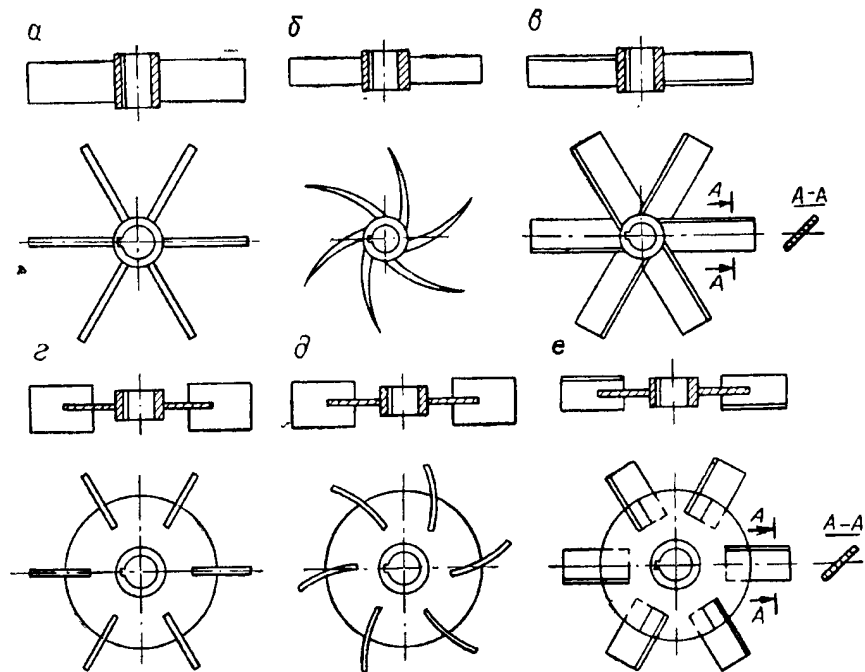


Рисунок 1.2 Типы турбинных насадок: а – турбинная с прямыми лопатками, б - турбинная с загнутыми лопатками с усилением, $b=d/5$; в - турбинная с прямыми наклонными лопатками, $a=d/4$, $b=d/5$, $\alpha=45^\circ$; г - – турбинная открытая с прямыми лопатками, $a=d/4$, $b=d/5$; д - турбинная открытая с загнутыми лопатками, $a=d/4$, $b=d/5$; е - турбинная открытая с наклонными лопатками, $a=d/4$, $b=d/5$, $\alpha=45^\circ$

Пропеллерные мешалки наиболее эффективны, когда необходимо создать значительную циркуляцию жидкости в аппарате при минимальном расходе механической энергии [2]. Они выполняют эту задачу лучше, чем мешалки другого типа, например турбинные. Пропеллерные насадки создают осевую циркуляцию жидкости за счет насосного эффекта, поэтому они легко поднимают твердые частицы со дна сосуда и используются для создания суспензий. На рис.1.3 показаны некоторые типы пропеллерных насадок [2].

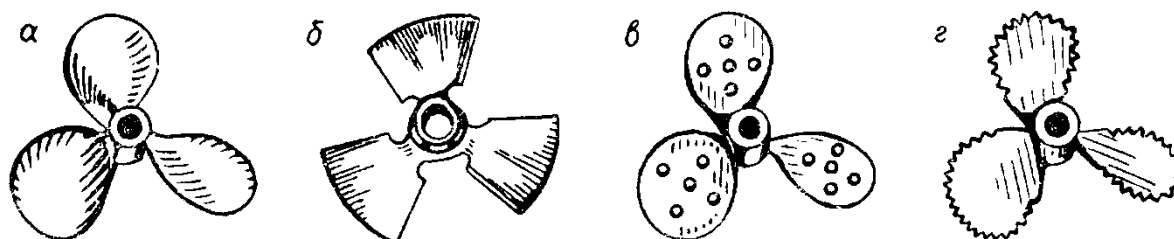


Рисунок 1.3 Конструкции пропеллерных насадок: а - стандартное решение; б - альтернативное решение; в - пропеллер с отверстиями в лопастях, применяемый при перемешивании жидкостей и трудносмачиваемых порошков; г - пропеллер с зубчатыми краями, применяемый для перемешивания волокнистых материалов

Штербачек и Тауск [5] считают, что пропеллерные мешалки пригодны для создания эмульсий, для процессов растворения и процессов, протекающих с химическими реакциями при объёме жидкости до 7 м³. Для гомогенизации маловязких жидкостей, при объёме аппарата до 16000 м³ применяют несколько насадок, расположенных по окружности аппарата. Окружная скорость края лопаток пропеллерных насадок составляет 6-15 м./с.

Пропеллерные насадки могут быть непосредственно соединены с электродвигателем без промежуточной передачи. Это снижает капиталовложения и, повышает к.п.д. привода. Электродвигатель при этом получает нагрузку лишь после достижения большого числа оборотов, а, следовательно, не требует запаса мощности на период пуска, что является преимуществом такого типа мешалок. Недостаток пропеллерных мешалок - относительно высокая стоимость их изготовления.

Лопастные мешалки относятся к широко используемым перемешивающим устройствам. В настоящее время они применяются в тех случаях, когда нет необходимости в интенсивной радиально-осевой циркуляции жидкости в аппарате. Лопастные насадки главным образом создают окружную (периметрическую) циркуляцию жидкости и лишь весьма незначительную радиально-осевую циркуляцию [2-6]. Основные виды таких лопаток представлены на рис.1.4 [2]. Как правило, лопастные мешалки – низкооборотные, с двумя лопастями, длина которых по отношению к диаметру сосуда больше чем у турбинных мешалок. Окружная скорость лопастных мешалок находится в пределах 1,5 – 4 м/с.

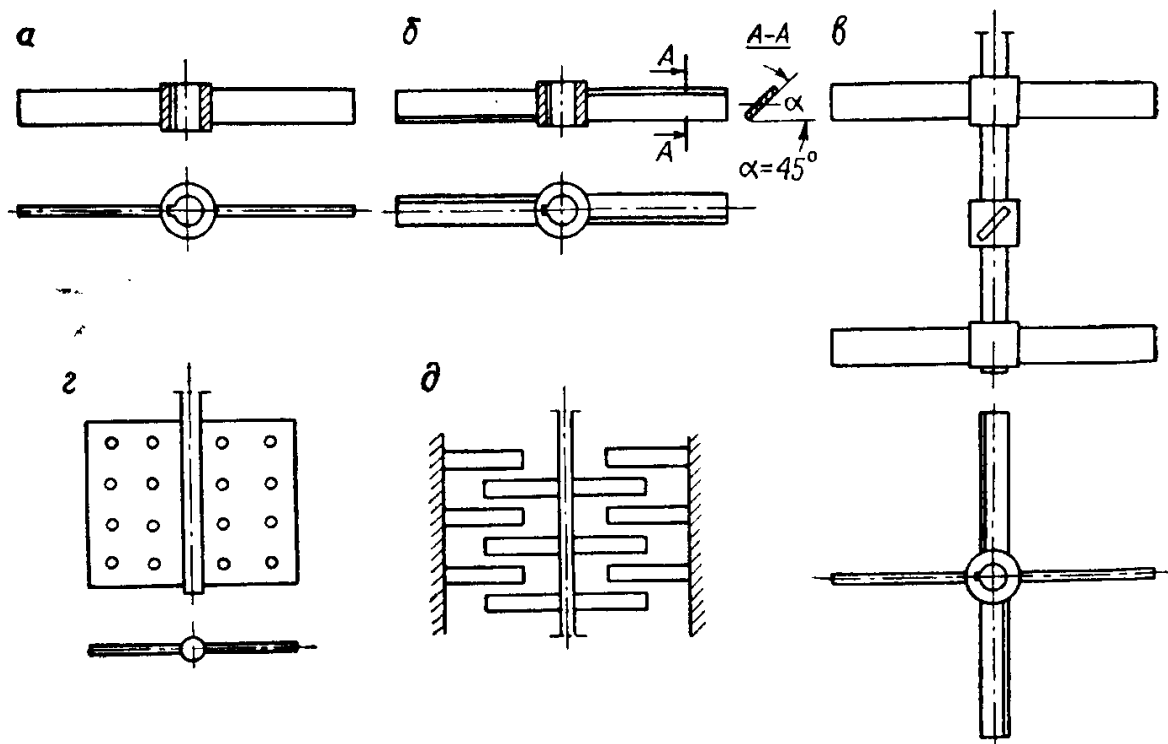


Рисунок 1.4 Конструкции лопастных насадок с двумя лопастями: а – с низкими лопастями; б - с низкими наклонными лопастями; в - со скрещенными лопастями; г - с высокими лопастями; д - со многими лопастями на одном валу в сосуде с радиальными отражательными перегородками

Основным достоинством таких мешалок является их простота, а также низкая стоимость в тех случаях, когда материал не является определяющим в общей стоимости их производства. Недостаток этого типа мешалок – слабая

интенсивность перемешивания. Наклонные лопасти более интенсивно перемешивают жидкость, чем прямые. Мешалки с такими лопастями применяются в случае трудно перемешиваемых жидкостей, плотности которых значительно отличаются друг от друга, а также для создания суспензий и эмульсий. Угол наклона чаще всего составляет 45° . Можно также крепить на одном валу две или три пары лопастей в виде креста, что способствует лучшему перемешиванию всего объёма жидкости [2-6].

Следует отметить, что нецелесообразно применять насадки со слишком длинными лопастями, так как с увеличением диаметра насадки быстро возрастает потребляемая мощность. Поэтому в сосудах большого диаметра устанавливают две и более насадки с меньшим диаметром.

Существуют также планетарные насадки, которые вращаются вокруг оси аппарата и дополнительно вокруг собственной оси. Это позволило сократить диаметр аппарата в два раза [2].

Якорные и рамные мешалки отличаются исключительно низким числом оборотов. Их окружная скорость не превышает $0,5 - 1,5$ м/с, а число оборотов до 60 мин^{-1} [2-6]. Примеры различных конструкций якорных и рамных насадок представлены на рис.1.5 [2].

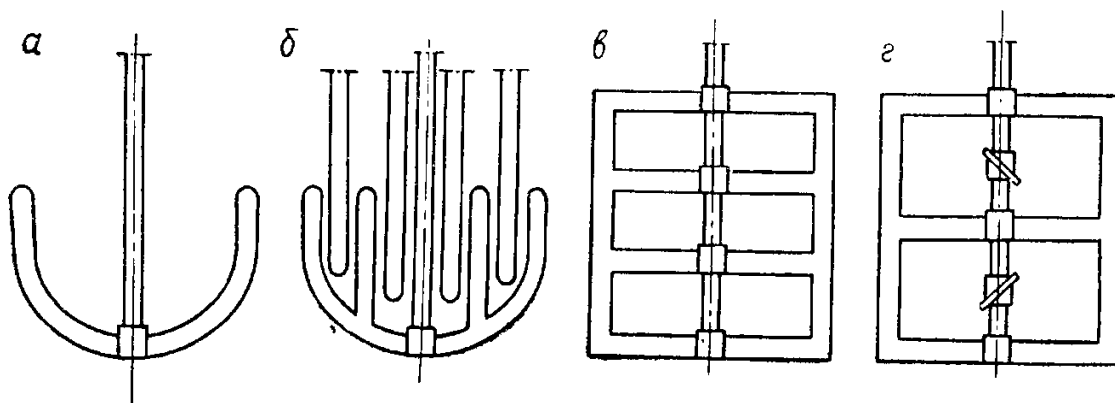


Рисунок 1.5 Конструкции якорных и рамных насадок: а – якорная эллиптической формы; б – якорная с пальцами и вертикальными отражательными перегородками; в – рамная; г – рамная со встроенными дополнительными лопастными насадками

Диаметр насадок приближается к диаметру сосуда, и зазор между лопастью и стенкой сосуда обычно принимается в пределах $\epsilon=(0,005...0,1)D$. Таким

образом, в случае применения этих насадок можно избежать местного перегрева жидкости (при нагреве с помощью рубашки) или осадка на дне сосуда [2,3,40].

Успешно применяются насадки, создающие высокое напряжение сдвига в процессах диспергирования неоднородных систем. Например, для перемешивания частичек твердого тела с вязкими жидкостями, в процессах экстракции и адсорбции, для разрыва волокнистых частиц или дробления частиц твердого тела и т.д.[2-6]. Примеры таких насадок представлены на рис.1.6 [2]. Наиболее простой насадкой рассматриваемого типа является диск (рис.1.6а), который потребляя небольшую мощности может работать при высоких окружных скоростях (5 – 35 м/с) [2-6].

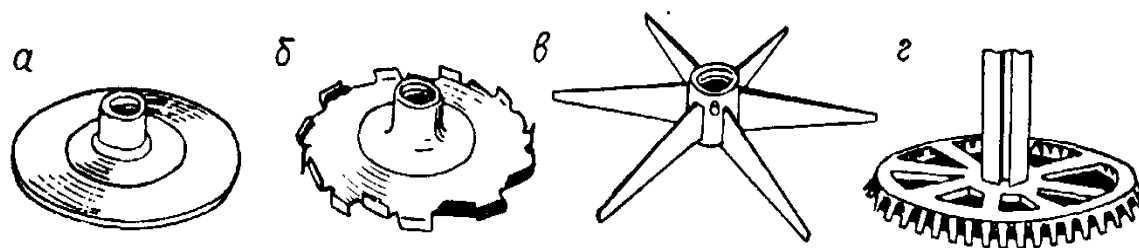


Рисунок 1.6 Конструкции насадок, создающих высокое напряжение сдвига: а – гладкий диск; б – диск с зубцами; в – турбинная насадка со срезанными лопатками; г – специальная насадка для систем жидкость-жидкость и газ-жидкость

Энергия перемешивания передается жидкости в непосредственной близости от диска в результате их взаимного трения. Ввиду высоких окружных скоростей вокруг диска возникают большие градиенты скоростей, что приводит к возникновению высоких напряжений сдвига. Дополнительный эффект сдвига может быть получен, если по окружности диска сделать соответствующие надрезы, как у дисковой пилы или фрезы (рис.1.6 б, г) [2].

Такие мешалки (особенно с насадкой диск) вызывают слабую циркуляцию жидкости в сосуде, и зона их действия невелика. Поэтому, в определенных случаях на одном валу устанавливают несколько дисков (например, в экстракционных колоннах) [2,3].

Существуют также перемешивающие устройства без механических конструкций. В таких аппаратах процесс перемешивания происходит в соответствующей камере благодаря турбулентности подводимых потоков жидкости. Примером может служить обычный инжектор для получения эмульсий в экстракторах [2-6,49-52]. Конструкция инжектора представлена на рис.1.7 [2].



Рисунок 1.7 Конструкция инжекторного перемешивающего устройства: 1- сопло; 2- диффузор

В промышленности используются также перемешивающие устройства специальных конструкций [2,49-52]. К ним можно отнести устройства для вибрационного, пульсационного и пневматического перемешивания. Существуют также циклонные аппараты, в которых жидкость движется по спирали [2]. Однако, эти аппараты не нашли широкого распространения из-за малой эффективности перемешивания и высокого энергопотребления обусловленные большими сопротивлениями течения жидкости.

Перспективным направлением создания перемешивающих устройств, эффективно воздействующих на компоненты дисперсной фазы и дисперсионной среды, являются насадки типа конфузор [53].

1.5.2. Циркуляция жидкости в аппаратах с перемешивающими устройствами

Под циркуляцией жидкости в перемешивающем аппарате следует понимать перемещение жидкости по замкнутому пути в соответствии с направлением линии тока [2,3,5]. Характер циркуляции жидкости в таком аппарате зависит

главным образом от типа насадки и от того, имеются ли в аппарате перегородки. Каждая мешалка создает поток жидкости. Этот поток в свою очередь вызывает циркуляцию во всем объеме аппарата вдоль так называемых циркуляционных петель. Поток жидкости, создаваемый мешалкой, имеет три составляющие скорости. По этой причине мешалки делят на три группы:

- создающие окружной (тангенциальный) поток – мешалки с лопастными и якорными насадками;
- создающие радиальный поток – некоторые типы турбинных насадок;
- создающие осевой поток – мешалки с пропеллерными насадками.

Это деление является ориентировочным, так как фактически можно говорить только о преобладании одной из составляющих скоростей в потоке жидкости, создаваемой мешалкой [2,3,5].

При тангенциальном течении жидкость в сосуде движется параллельно пути, описываемом насадкой рис.1.8 [5]. Перемешивание происходит в основном за счет вихрей, возникающих по контуру лопаток. Перемещение в вертикальном направлении очень мало.

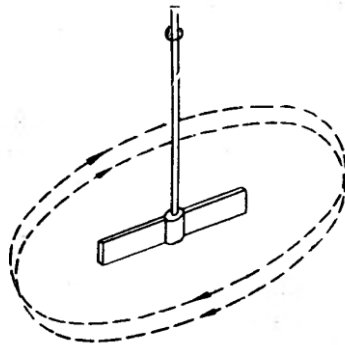


Рисунок 1.8 Схема тангенциального потока

При радиальном течении жидкость течет от насадки перпендикулярно оси её вращения. Для возникновения потока требуется определенное усилие. При радиальном течении жидкости, вызванном насадкой, ось которой совпадает с осью сосуда, образуется две зоны течения: в нижней части сосуда жидкость подсасывается снизу вверх, а в верхней - сверху вниз рис.1.9 [5].

При осевом течении жидкость поступает и вытекает из насадки параллельно оси её вращения рис.1.10 [5]. В зависимости от поворота лопастей пропеллера различают два типа вертикальных мешалок с осевым течением жидкости в сосуде [5]:

1. Мешалка, засасывающая жидкость от дна и нагнетающая жидкость к поверхности;
2. Мешалка, засасывающая жидкость от поверхности и нагнетающая жидкость ко дну.

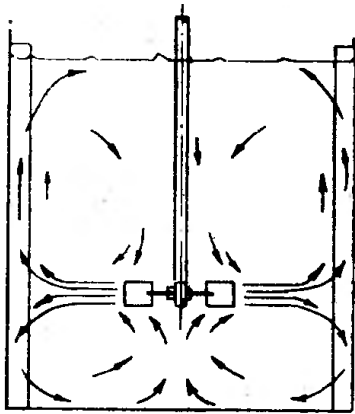


Рисунок 1.9 Схема радиального течения жидкости в смесительном аппарате

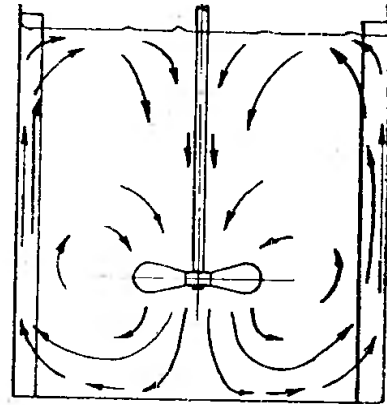


Рисунок 1.10 Схема аксиального течения жидкости в смесительном аппарате

Для оценки работы различных мешалок были введены понятия окружной (периферийной) и радиально-осевой циркуляции. Эти параметры учитывают разложение общего потока жидкости от насадки мешалки на два циркуляционных потока, где частицы жидкости совершают движение по окружностям, concentric к оси аппарата, в горизонтальных плоскостях,

перпендикулярных к оси, а также в вертикальных (меридиональных) плоскостях, пересекающих ось аппарата [2,3,5,35].

Окружная (первичная) циркуляция связана с вращением всей массы жидкости вокруг оси мешалки. Радиально-осевая (вторичная) циркуляция связана с насосным действием мешалки.

Существенное значение для процесса перемешивания имеет вторичная циркуляция, так как она осуществляет конвективное движение в аппарате.

Проведенные исследования показали, что в аппаратах, как с перегородками, так и без них существует вторичная циркуляция. Она связана с наличием радиальной либо осевой составляющей в потоке жидкости, создаваемом мешалкой (одна из этих составляющих всегда существует). Так, например, мешалка с турбинными насадками с прямыми лопатками создает поток жидкости, имеющий радиальную и тангенциальную составляющие. На стенке аппарата этот поток притормаживается, меняет своё направление на осевое, поднимается вверх, вплоть до свободной поверхности жидкости, и отсюда вновь поворачивает в направлении насадки. Так образуются замкнутые циркуляционные петли, в которых радиальная и осевая составляющие равны нулю [2,3,5-7,35].

В промышленных перемешивающих аппаратах возможны различные сочетания этих основных типов течения. Обобщить опытные данные по отдельным составляющим потока оказалось невозможно [5].

Процесс движения частиц (потоков) жидкости в перемешивающем аппарате очень сложен. Например, в аппарате без перегородок он представляет собой спирали различного диаметра с переменным шагом, начинающиеся и оканчивающиеся в одном и том же месте, например в зоне насадки; в аппарате с перегородками этот путь ещё более сложен.

Если насадка расположена на половине высоты жидкости, то образуется два приблизительно симметричных потока вторичной циркуляции, тогда как при смещении насадки в направлении днища эта симметрия нарушается, а когда насадка находится у самого днища, то образуется лишь один поток вторичной циркуляции. Пропеллерные насадки, создают главным образом осевой поток

жидкости и обеспечивают вторичную циркуляцию в виде одной петли в сосуде с перегородками и без перегородок. Некоторые авторы [54,55] указывают на возможность возникновения циркуляционных петель (подобных тем, которые образуют турбинные мешалки), если высота жидкости в аппарате будет достаточно большой (H/D больше 1).

Из всех выше рассмотренных случаев следует, что в пространстве, описываемом вращающейся насадкой, наблюдается сильное уплотнение линий потока (там возникают наибольшие скорости и самая большая турбулентность потока жидкости), поэтому можно предполагать, что в этой зоне будет происходить наиболее интенсивное перемешивание жидкости.

Вишневецкий Н.Е. [56] предлагает выделять в объёме аппарата две зоны – зону насадки, в которой происходит интенсивное перемешивание, и зону циркуляции, в которой перемешивание является слабым и жидкость течет с меньшими скоростями.

Другим параметром для оценки эффективности и интенсивности перемешивающего устройства является насосный эффект. Под ним понимают объёмный расход жидкости через насадку, рассматриваемую как ротор насоса [2].

При вращательном движении жидкости в перемешивающих аппаратах наблюдается образование центральной воронки, которое сопровождается подъемом жидкости у стенки аппарата. Если угловая скорость перемешиваемой среды высокая, глубина воронки становится сопоставимой с глубиной установки насадки или даже превышает её. Образование воронки приводит к повышению уровня жидкости около стенок аппарата и, следовательно, к увеличению гидравлического сопротивления корпуса.

1.5.3. Распределение скоростей жидкости в процессе перемешивания

Из-за сложного характера течения жидкости в аппаратах с мешалкой получено только упрощенное математическое описание распределения скоростей, причем только для простых перемешивающих устройств. Такие исследования

относятся к вертикальным цилиндрическим перемешивающим аппаратам, поэтому для математического описания перемешивания используется цилиндрическая система координат (r, t, z) [2].

Результирующая скорость в любой точке аппарата складывается в такой системе координат из трех составляющих – радиальной W_r , осевой W_z и тангенциальной W_t , рис.1.11.

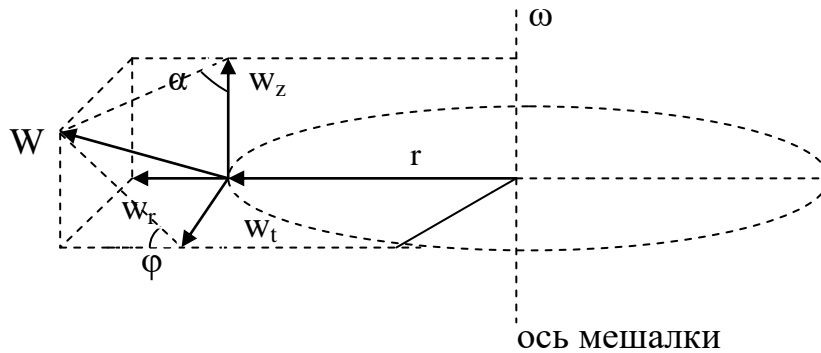


Рисунок 1.11 Схема расположения суммарной скорости жидкости в аппарате с мешалкой на составляющие

Отдельные составляющие скорости можно рассчитывать по зависимостям [2]:

$$W_r = \frac{W}{\sqrt{1 + tg^2 \alpha + tg^2 \varphi}} \quad (1.4)$$

$$W_t = \frac{W}{\sqrt{1 + tg^2 \alpha + tg^2 \varphi}} \quad (1.5)$$

$$W_z = \frac{W}{\sqrt{1 + tg^2 \alpha + tg^2 \varphi}} \quad (1.6)$$

где α – угол, определяющий отклонение результирующей скорости от вертикальной плоскости, проходящей через ось аппарата;

φ – угол, определяющий отклонение результирующей скорости от горизонтальной плоскости, перпендикулярной к оси аппарата (плоскость вращения насадки)

Однако, уравнения (1.4 - 1.6) не могут быть применены при практических расчетах и носят лишь теоретический характер.

1.6. Дисперсные системы в технологических процессах

Дисперсные системы - это микрогетерогенные системы, состоящие из двух или более фаз, с размерами находящихся в них частиц от 1 нм и до 10–100 мкм, при этом одна из фаз образует непрерывную дисперсионную среду, в объеме которой распределены частицы дисперсной фазы [13].

Как в стройиндустрии, так и в других отраслях промышленности дисперсные системы играют чрезвычайно важную роль и активно используются в различных технологических процессах. Например, дисперсные системы являются основой для получения таких материалов, как бетоны, лакокрасочные материалы, керамические и металлокерамические материалы, бумага, картон, и множество других материалов [57,58].

Дисперсные системы характеризуются по различию входящих в них компонентов, по химическому и фазовому составам, физическим свойствам, областям существования и применения. К ним относятся такие существенно отличающиеся объекты природного и производственного типа, как аэрозоли (туманы, дымы), цементы и бетонные смеси на их основе, все многообразные виды пен и эмульсий, пигменты и высокодисперсные наполнители для лакокрасочных и композиционных материалов, керамические массы, сырая нефть и природные битумы [59].

Объединяют все дисперсные системы общие фундаментальные физико-химические признаки: гетерогенность (наличие поверхности раздела между фазами) и дисперсность (раздробленность) [13]. Обе эти характеристики связаны между собой.

Гетерогенность дисперсных систем неизбежно связана с существованием границы раздела между фазами и особыми свойствами вещества на этой границе. Это приводит к появлению качественно новых свойств дисперсных систем.

Роль поверхностных явлений, связанная с отличиями в состоянии атомов, ионов, молекул на поверхности, преобладает или заметно проявляется в случае, когда размеры частиц материала находятся в пределах от 10^{-7} и до 10^{-9} м.

Избыток свободной энергии, связанный с высокоразвитой поверхностью раздела фаз, приводит к неустойчивости высокодисперсных систем, протеканию в них самопроизвольных процессов, приводящих к уменьшению дисперсности [12,60].

Виды дисперсных систем

Существуют различные виды дисперсных систем. В них, если дисперсионная среда является жидкой или газообразной, частицы дисперсной фазы перемещаются свободно и называются - свободнодисперсными системами с подвижной дисперсной фазой. При наличии твердой дисперсионной среды, свободное перемещение частиц дисперсной фазы становится невозможным. Такие системы называются связнодисперсными системами, рис. 1.12 [60].

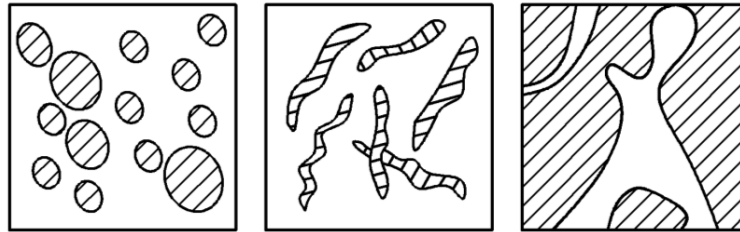


Рисунок 1.12 Дисперсные системы: 1, 2 – свободнодисперсные; 3 – связнодисперсная

Свободнодисперсные системы в зависимости от размеров частиц дисперсной фазы подразделяются на следующие виды [13,60]:

1. Ультрамикрогетерогенные или коллоидные, имеющие частицы дисперсной фазы с размерами в пределах от 0,001 до 0,1 мкм;
2. Микрогетерогенные, имеющие частицы с размерами от 0,1 до 10 мкм;
3. Грубодисперсные, имеющие частицы с размерами более 10 мкм;
4. Истинный раствор, имеющие частицы с размерами менее 0,001 мкм (1 нм).

Дисперсные системы, между веществами которых, может проявляться сильное межмолекулярное взаимодействие, называются лиофильными.

В них вокруг частиц дисперсной фазы образуются сольватные оболочки из молекул дисперсионной среды.

Дисперсные системы, между веществами которых, возникает слабое межмолекулярное взаимодействие, называются лиофобными.

Если дисперсионной средой является вода, то к числу лиофобных систем относят такие, в которых дисперсная фаза образована труднорастворимыми неорганическими соединениями – оксидами, гидроксидами, солями и т.д.

Типичными представителями микрогетерогенных и грубодисперсных систем являются суспензии, эмульсии, порошки, смеси. В зависимости от размеров частиц дисперсной фазы их относят к первым или вторым. Порошки – дисперсные системы с твердой дисперсной фазой и газообразной средой. К ним относятся минеральные вяжущие вещества (цементы, известковые и магнезиальные вяжущие, наполнители, красители, пигменты, измельченное твердое топливо) и т. д. Свойства порошков, в частности их агрегативная устойчивость, во многом определяются размерами их частиц и агрегатным состоянием дисперсионной среды [60,61].

Особую группу гетерогенных и грубодисперсных систем составляют смеси, керамическая и стекольная массы, шихта для получения цементного клинкера, сухие растворные и бетонные смеси. Смеси представляют собой систему разнородных мелкозернистых веществ различного химического состава, обладающих различными свойствами и разной степенью дисперсности. Каждый компонент, составляющий смесь, вполне индивидуален и сохраняет все присущие ему свойства. Характерной особенностью смесей является то, что каждый из компонентов может быть отделен от других тем или иным способом [59,60].

Суспензиями называют микрогетерогенные и грубодисперсные системы, в которых дисперсная фаза – твердая, а дисперсионная среда – жидкая. То есть, суспензии представляют собой взвеси порошков в жидкостях. Концентрированные суспензии называют пастами. Для придания устойчивости в суспензии и пасты вводят стабилизаторы. Они применяются в производстве строительных, керамических, лакокрасочных и других материалов [61]. Суспензии стабилизируют вводя дополнительные компоненты, называемые стабилизаторами – это ПАВ, растворы высокомолекулярных соединений, мыла,

порошки (глина, известь, сажа), адсорбирующиеся на поверхности частиц дисперсной фазы или образующие прочные пленки, не разрывающиеся при столкновениях и препятствующие их слиянию [16,61-65].

Эмульсии – дисперсные системы, состоящие из двух несмешивающихся друг в друге жидкостей, одна из которых (дисперсная фаза) распределена в другой (дисперсионная среда) [13.66].

Эмульсии, как правило, агрегативно неустойчивы и в них самопроизвольно протекает коалесценция (слияние частиц), так как она сопровождается уменьшением свободной энергии. Примером эмульсий, применяемых в строительной практике, могут служить битумные и дегтевые эмульсии, смазки эмульсионные, латексные краски и др., а для обеспечения их устойчивости используют ПАВ [16,66].

Сорбционные процессы

В адсорбционных процессах проявляются физические и химические взаимодействия. В зависимости от преобладания тех или иных различают физическую адсорбцию и хемосорбцию. Количество адсорбируемого вещества возрастает при увеличении поверхности, на которой происходит адсорбция, поэтому материалы, используемые в качестве адсорбентов, должны иметь сильно развитую поверхность [12,60,67].

При адсорбции из растворов адсорбируемое вещество находится в растворенном виде, а адсорбентом является твердое тело. На поверхности твердого тела осуществляется адсорбция, как растворителя, так и растворенного вещества.

В результате воздействия химических или межмолекулярных связей между частицами твердого тела и раствора у поверхности твердого тела образуется силовое поле.

Свойства жидкости, находящейся в адсорбционном слое у поверхности твердого тела отличаются от свойств жидкости в объеме. Происходят изменения в плотности, теплопроводности, электрической проводимости, температуре замерзания и других свойствах, если она находится в тонких пленках на

поверхности твердого тела. Эти отличия заметнее, чем больше полярность жидкости. Наиболее существенны они у такого полярного вещества как вода.

В случае адсорбции веществ из растворов электролитов наличие ионов, на которые диссоциирует электролит, вносит свои особенности. У поверхности твердого тела при этом образуется двойной электрический слой. Внутреннюю обкладку этого слоя образует заряженная поверхность твердого тела, а наружную его обкладку – противоположно заряженные ионы, сосредоточенные в растворе у поверхности твердого тела.

Процесс при адсорбции из растворов электролитов называется ионным обменом. При таком обмене одновременно ионы, эквивалентные по заряду, из раствора адсорбируются на поверхности твердого тела, а ионы, входящие в состав твердого вещества десорбируются, уходя в раствор. Суммарный заряд таких ионов является одинаковым [12,60,67].

Структурообразование в дисперсных системах

Коагуляция протекает в термодинамически неустойчивых дисперсных системах. Процесс коагуляции особенно интенсивно протекает в лиофобных агрегативно-неустойчивых дисперсных системах. Дисперсная система при этом становится структурированной, то есть переходит в совершенно новое состояние. Переход от свободно-дисперсных к агрегированным системам - полностью изменяет основные для таких систем структурно-механические свойства. Они могут полностью утрачивать агрегативную устойчивость, но при этом становятся седиментационно-устойчивыми, здесь наличие структурной сетки удерживает частицы дисперсных фаз, зафиксированные в ней, от осаждения. Вместе с тем такие системы утрачивают текучесть, легкоподвижность, их вязкость непрерывно растет с ростом дисперсности и соответствующим уменьшением размера частиц и их концентрации в дисперсионных средах [13,58,67].

Основные факторы, влияющие на свойства структурированных дисперсных систем [58]:

- сила и энергия сцепления (взаимодействия) в контактах между частицами дисперсных фаз,

- число контактов между ними в единице объема.

Кроме того, сила и энергия взаимодействия в контактах между частицами зависят от вида (природы) контактов [58]:

- непосредственных (атомных), возникающих в высокодисперсных порошках;

- коагуляционных, возникающих в пастах (суспензиях) или эмульсиях через тонкую прослойку жидкости;

- прочных, так называемых фазовых контактов, характерных для конденсационных структур дисперсных материалов.

Структуры с контактами первого и второго видов имеют полную обратимость по прочности. Они при прекращении внешних механических воздействий на структуру способны самопроизвольно восстанавливаться до первоначального уровня. Такое свойство называется тиксотропией и характерно для многих видов порошко- и пастообразных дисперсий [59,68].

Также при структурообразовании возможно сосуществование всех перечисленных типов структур. Примером могут служить дисперсные структуры, возникающие в процессе гидратационного твердения минеральных вяжущих (при "затворении" порошкообразного цемента водой) [58,69].

Для различных дисперсных структур большую роль в формировании свойств, как дисперсных систем, так и получаемых из них дисперсных материалов играют коагуляционные структуры. Именно с их образования начинается история синтеза структурированных дисперсных систем и материалов с разнообразными свойствами [13].

Основные условия возникновения таких структур и критерии, определяющие возможность их существования зависят от двух главных параметров:

- критический характерный размер частиц, начиная с которого становится возможным возникновение дисперсных структур в дисперсных системах;

- критическая концентрация частиц дисперсной фазы, при достижении которой такие структуры возникают.

1.7. Агрегативная устойчивость водных систем

Хорошо смешиваются вещества, молекулы которых являются донорами электронов, с веществами, молекулы которых имеют незаполненные орбитали и являющимися соответственно акцепторами электронов. В остальных случаях, при смешивании веществ состоящих из молекул разного строения и имеющих разный тип внутримолекулярных связей, могут возникать те или иные проблемы [13].

Причем, гетерофазные компоненты исходных водных композиций имеют, как правило, неудовлетворительные характеристики дисперсного состава, а гомофазные находятся в расслоенном состоянии. В процессах смешивания устраняются структурно-физические недостатки исходных водных композиций путем создания дисперсных композиций с требуемыми для технологических применений свойствами.

Одной из ключевых характеристик дисперсных композиций является их агрегативная устойчивость [13]. Важность этой характеристики заключается в том, что агрегативная устойчивость создает возможность длительного сохранения полученной в процессе смешивания структуры и полидисперсности компонентов композиции. Кроме того она является одним из показателей качества в значительной мере влияющим на стабильность свойств изготовленных из композиций изделий. Агрегативная устойчивость зависит от размеров дисперсных компонентов в композиции и характера взаимодействий между ними, причем особенно сильно для тех компонентов, которые значительно отличаются по своей плотности от плотности воды.

Однако в подавляющем числе исходных водных композиций неорганические компоненты состоят из веществ имеющих ионную структуру, и поэтому характер их взаимодействия приводит к взаимному притяжению и увеличению в размерах дисперсных частиц, а в органических соединениях преобладают неполярные ковалентные взаимодействия и по этой причине они плохо смешиваются с полярными молекулами воды.

Следовательно, явления связанные с коалесценцией дисперсных частиц и расслоением композиций препятствуют структурно-физическим модификациям исходной смеси в процессе смешивания и приводят к агрегативной неустойчивости изготовленных композиций.

В последние годы отмечается повышенный интерес к использованию полимерно-неорганических материалов, и по этой причине возрастает спрос на агрегативно-устойчивые композиции, из которых создаются композитные материалы с новыми потребительскими свойствами. Получаемые при этом в ряде случаев синергетические эффекты взаимодействия полимерной и неорганической составляющей открывают новые возможности повышения прочностных свойств и эксплуатационных качеств морозо-, масло-, водо-, грязе-, огне- и химстойкости, а также расширяют область применения таких материалов и повышают производительность технологического оборудования при их использовании [70-72].

Подбор оптимальных соотношений компонентов в составе водных дисперсных композиций, их гранулометрический состав и характер взаимодействия органических и неорганических молекул существенно влияют на технологичность изготовления и потребительские свойства изделий. Взаимосвязь структуры и свойств композитного материала, а также локальные флуктуации плотности между сближающимися в водном растворе молекулами, в значительной мере зависят от энергий взаимодействия: полимерный сегмент – неорганическая молекула, полимерный сегмент – молекула воды, неорганическая молекула – молекула воды, полимерный сегмент – полимерный сегмент, неорганическая молекула – неорганическая молекула и молекула воды – молекула воды [20,21]. От сбалансированности этих энергетических взаимодействий зависит устойчивость водных композиций и свойства полученных из них изделий. Причем для улучшения некоторых эксплуатационных свойств может оказаться целесообразным использовать, как структурно-однородные, так и склонные к микрофазному расслоению композиции.

1.7.1. Физико-химические факторы, влияющие на агрегативную устойчивость дисперсных водных систем

Актуальной теоретической проблемой на протяжении всего прошлого века был поиск необходимых и достаточных количественных критериев для возможности отнесения состояний многокомпонентных растворов к устойчивым, метастабильным или неустойчивым [20,21]. Однако до настоящего времени эта проблема не имеет удовлетворительного решения, потому что разработанные количественные критерии агрегативной устойчивости жидких композиций имеют трудно определяемые характеристические параметры, сложны в реализации и не имеют надежной предсказательной точности. Рассмотрим суть проблемы на примере простых двухкомпонентных растворов.

Очевидно, что необходимым критерием агрегативной устойчивости является движение частиц дисперсной фазы в дисперсионной среде по броуновским траекториям [73]. Такому движению могут препятствовать сила тяжести или архимедова сила выталкивания частиц дисперсной фазы в том случае, если её плотность соответственно больше или меньше плотности дисперсионной среды, что, как правило, является фундаментальной закономерностью для веществ разного химического состава.

Следовательно, для выполнения необходимых условий устойчивости и уменьшения влияния сил тяжести и выталкивания частицы дисперсной фазы должны быть соответствующим образом диспергированы. Причем для выполнения достаточных условий перехода на движение по броуновским траекториям диспергированные частицы должны взаимодействовать с дисперсионной средой таким образом, чтобы силы взаимодействия уравновешивали негативное влияние уменьшенных в результате диспергирования сил тяжести и выталкивания.

В отсутствии внешних воздействий в соответствии с физическими законами компоненты раствора стремятся минимизировать внутреннюю энергию [20,21]:

$$\min F_{AB}(x, y, z) = k_B \cdot T \cdot \chi \cdot V_A(x, y, z) \cdot V_B(x, y, z) , \quad (1.7)$$

где F_{AB} - энергия взаимодействия компонентов А и В с объемными долями $V_A + V_B = 1$, k_B – постоянная Больцмана, а T - абсолютная температура.

В рамках термодинамических теорий за особенности взаимодействия компонентов отвечает параметр Флори-Хаггинса [20,21]:

$$\chi = \chi_{AB} - \frac{\chi_{AA} + \chi_{BB}}{2} \quad (1.8)$$

где χ_{AB} , χ_{AA} , и χ_{BB} безразмерные параметры парных взаимодействий, причем даже для очень слабых ван-дер-ваальсовых взаимодействий между компонентами, как показывают вычисления, он больше нуля.

Если параметр Флори-Хаггинса близок к нулю, то в композиции будут доминировать энтропийные эффекты, делающие смешивание термодинамически выгодным. При увеличении этого параметра раствору, как следует из анализа соотношения (1.7), термодинамически выгодно расслоиться на две фазы и практика показывает, что это происходит в подавляющем большинстве случаев. Поэтому при $\chi > 0$ система по фундаментальным термодинамическим причинам будет стремиться к расслоению, которому в определенной мере могут препятствовать лишь вязкостные свойства дисперсионной среды.

Сильные и слабые межмолекулярные силы взаимодействия в композициях, влияющие на агрегативную устойчивость, характеризуются большим разнообразием, а также трудностью и невысокой точностью в экспериментальном определении их величин [20,21].

В случае слабых флуктуационных межмолекулярных сил, вызванных флуктуациями плотности электронов в объеме молекул, необходимо учитывать особенности сложного комплекса электродинамических явлений. Они в свою очередь приводят к разнообразным особенностям силовых взаимодействий с участием дисперсионных, ван-дер-ваальсовых, казимировых, кеезомовых и лифшицовых сил [20,21,74].

Большим разнообразием отличаются и межмолекулярные силы между макроскопическими телами [22], приводящие к укрупнению частиц, вызывающие

агрегативную неустойчивость по причине действия сил тяжести или архимедовых сил выталкивания.

Однако, наиболее сложная ситуация возникает при помещении в двухкомпонентную систему полимерной цепи. Характерной особенностью дисперсных полимерно-неорганических водных композиций является негативное влияние на неё устойчивость высокомолекулярных компонентов, так как полимерным цепям термодинамически выгоднее находиться в изотропной фазе. Известно [21], что даже в наиболее простом случае одной полимерной цепи, помещённой в двух несмешивающихся жидких компонентах с объемными долями V_A и V_B мало отличающихся друг от друга по силе воздействия на сегменты полимерной цепи, разность сил воздействия равна:

$$\delta F = k_B \cdot T \cdot \frac{\chi_{AA} \cdot V_A^2 - \chi_{BB} \cdot V_B^2}{2} \quad (1.9)$$

Параметр β , характеризующий нахождение цепи в одном из компонентов в зависимости от знака δF : $\beta \rightarrow 1$ или $\beta \rightarrow 0$, в соответствии с соотношением, полученным лауреатом Нобелевской премии Полем де Женом [21]:

$$\beta = \frac{\exp\left(-\frac{N\delta F}{k_B \cdot T}\right)}{1 + \exp\left(-\frac{N \cdot \delta F}{k_B \cdot T}\right)} \quad (1.10)$$

Полимерная цепь из N мономерных сегментов стремится переместиться в один из компонентов с характерным параметром этого процесса $1/N$. Причем при увеличении числа звеньев полимерной цепи N характерный параметр практически полного захвата полимерной цепи одной из фаз даже при $\delta F / kT \approx 1$ быстро уменьшается. Поэтому при энергетических различиях, соизмеримых с энергией тепловых флуктуаций, полимерная цепь полностью перейдет в один из компонентов, вызывая агрегативную неустойчивость. Следовательно, композиции, содержащие высокомолекулярные компоненты, имеют тенденцию к быстрой потере агрегативной устойчивости.

Таким образом, агрегативная устойчивость дисперсных водных композиций зависит от баланса сил межмолекулярного взаимодействия, для которого получить априори надежную теоретическую оценку чрезвычайно сложно.

Установление закономерностей устойчивых термодинамических равновесий при взаимодействии между неорганическими и органическими молекулами, а также макроцепями с разным составом мономерных сегментов в многокомпонентной водной смеси до настоящего времени является сложной теоретической проблемой. Основные аспекты проблемы устойчивости многокомпонентных смесей с позиций классической и статистической термодинамики рассмотрены в монографии И.Р.Пригожина [20]. При этом теоретическое обоснование устойчивости дисперсных систем является во многом нерешенной и остающейся актуальной задачей до настоящего времени.

Кроме этого негативное влияние на агрегативную устойчивость и структурно-физические свойства композиций при их длительном хранении могут оказывать биологически активные микроорганизмы. Для повышения микробиологической устойчивости композиций обычно приходится использовать методы химического или физического воздействия на эти микроорганизмы [15].

Практически задачи стабилизации агрегативно-неустойчивых дисперсий обычно решают путем подбора в смешиваемые композиции добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые, адсорбируясь на поверхности частиц композиции, уменьшают размеры частиц дисперсной фазы, а также введением в композиции соединений подавляющих биохимические процессы.

Важно отметить, что адсорбция ПАВ на поверхности дисперсных частиц сопровождается образованием ассоциатов с участием молекул воды, в результате чего средняя плотность ассоциатов приближается к средней плотности дисперсионной среды, что позволяет им перейти на броуновские траектории движения.

Однако использование в качестве стабилизаторов композиций сложных химических соединений, требующих многих промышленных переделов, повышает себестоимость изделий, и часто приводит к тому, что улучшение

агрегативной устойчивости композиций происходит за счет снижения потребительских свойств получаемых из них изделий. Поэтому актуальна задача уменьшения в количественном отношении стабилизирующих компонентов или полное исключение их использования при создании новых промышленных материалов.

Хорошие возможности влияния на структурно-физические характеристики многокомпонентных композиций и повышения агрегативной устойчивости водных систем имеет процесс смешивания в режиме механоактивации, так как при этом создаются условия не только для достижения требуемых значений полидисперсности, а и для изменения морфологии твердых, жидких и биологически активных компонентов.

В этой связи представляется перспективной активация воды с целью получения её ионов, потому что они могут играть важную роль в повышении агрегативной устойчивости композиций и успешно заменять ПАВ, так как индуцируют более сильные электростатические поля, хорошо совместимы с молекулами воды, а также, что не менее важно, дешевле ПАВ.

1.8. Влияние на свойства водных систем магнитных, ультрафиолетовых и механоактивационных воздействий

Важными критериям эффективности смешивающего устройства являются простота его конструкции и низкая энергоемкость. Поэтому с учетом этих критериев анализ возможных путей стабилизации агрегативно-неустойчивых композиций показывает, что перспективными являются три подхода структурно-физической модификации многокомпонентных дисперсных водных систем на основе магнитных, ультрафиолетовых и механоактивационных воздействий [75,76].

Как правило, подавляющее число исходных компонентов смесей составляют полярные молекулы [58], и поэтому представляется предпочтительным воздействовать на приготавливаемую композицию

магнитными полями, создаваемыми постоянными магнитами, что не требует дополнительных энергетических затрат.

Конструкции, осуществляющие предварительное воздействие магнитного поля на используемую для приготовления композиций воду, просты в изготовлении.

В отраслях промышленности, где технологические процессы связаны с применением воды, стали применять магнитную обработку воды [75]. Оказалось, что применение магнитной обработки воды в строительном производстве ускоряет процесс твердения и повышает прочность бетона и других строительных материалов [75-78]. Проводились эксперименты по влиянию магнитной обработки на качество бетона. Через магнитные аппараты пропускалась либо вода, идущая на приготовление бетона, либо сам бетон перед его заливкой в опалубки, после чего качество бетона (время его застывания и прочность) улучшалось [76,77].

Конструктивно гидромагнитные системы состоят, как правило, из корпуса на основе магнитного материала, служащего магнитопроводом, и магнитного элемента. Под действием магнитного поля в рабочем объеме изменяются физические свойства воды, протекающей через гидромагнитную систему, содержащиеся в ней силикаты, магниевые и кальциевые соли теряют способность формироваться в виде плотного камня и выделяются (особенно после подогрева) в виде легко удаляемого шлама, обычно удаляемого потоком воды и скапливающегося в грязевиках или отстойниках. Кроме того, обработанная таким образом вода разбивает и удаляет уже отложившуюся накипь и препятствует в дальнейшем ее образованию [77,79].

Изменение (и усиление) свойств воды под действием магнитного поля и их сохранение можно объяснить тем, что магнитное поле упорядочивает расположение водяных кристаллов-диполей, создавая из них многоэлементные пространственные антенные решетки, возможно, спиральные, так как магнитное поле - это вихревое поле. Антенные решетки, как уже говорилось, обладают, благодаря огромному количеству элементов и их строгой упорядоченности,

совершенно уникальными направленными свойствами. Эти свойства способны длительное время сохраняться из-за остаточной намагниченности и зависят напрямую от свойств обрабатываемого материала.

Намагниченная вода не образует накипь, возможно, потому, что в ней под влиянием магнитного поля усилены вихревые процессы. Поэтому соли - твердые частицы, втянуты в вихревое движение в осадок не выпадают до тех пор, пока эти вихри не утихнут (не размагнитится вода).

Магнитная обработка воды - технология, выгодная по своей простоте и дешевизне.

Для уменьшения негативного воздействия биологически активных соединений на композиции можно в процессе их приготовления воздействовать УФ излучением, испускаемым светодиодами, которые имеют высокий КПД преобразования электрической энергии в световой поток. Этот тип воздействия незначительно увеличивает, как энергетическую нагрузку при приготовлении композиций, так и стоимость перемешивающей аппаратуры.

Фотоны из УФ диапазона света способны воздействовать на композицию лишь в том случае, если они поглощаются компонентами этой композиции. Вода прозрачна для УФ излучения, а микроорганизмы, поглощая его, погибают. На этом принципе основана работа систем обеззараживания воды УФ излучением [80].

Наиболее гибкими возможностями влияния на структурно-физические характеристики в деле повышения агрегативной устойчивости дисперсных водных систем обладает процесс смешивания в режиме механоактивации, так как при этом создаются условия не только для достижения требуемых значений полидисперсности, а также и для изменения морфологии композиций.

Важным преимуществом механоактивации по сравнению с магнитной и УФ предварительной обработкой воды является возможность эффективного воздействия непосредственно на дисперсную систему. Для дисперсных систем в большинстве случаев влияние ультрафиолетового излучения малоэффективно по причине непрозрачности смешиваемых композиций в УФ диапазоне длин волн,

что сильно ограничивает долю объема композиции, подвергающуюся обработке [80]. Кроме этого на поверхности УФ излучателя и особенно постоянного магнита в процессе смешивания образуются покрытия из полярных молекул, что также снижает эффективность магнитных и УФ воздействий на дисперсную систему.

При механоактивации не требуется дополнительного усложнения конструкции смесительного аппарата, а необходимо только подобрать правильные конструкции и режимы работы типовых насадок роторных смешивающих устройств.

Однако на практике оказалось, что не все конструкции роторных насадок оказывают значимое влияние на механохимические явления, вызывающие структурно-физические модификации композиций [19].

1.9. Постановка задачи исследования

Проведенный анализ литературных источников по существующим методам получения агрегативно-устойчивых водных дисперсных композиций, конструкциям смесительных аппаратов для гомогенных и гетерогенных жидких сред и их гидродинамических характеристик показывает, что:

1. Для получения устойчивых тонкодисперсных суспензий и эмульсий предпочтительно использовать вращающиеся перемешивающие устройства, преимуществом которых является простота их конструкции;

2. Конструкциями, которые предпочтительны для получения эмульсий с минимальными затратами энергии на процесс смешивания, могут служить устройства, использующие эффект прохождения смеси через трубки переменного сечения;

3. Комплекс физико-химических явлений, протекающих в процессах смешивания, чрезвычайно сложен в плане получения строгого математического описания, и поэтому его анализ доступен лишь в рамках упрощенных математических моделей.

4. Использование упрощенных математических моделей, оперирующих ненадежными данными, как правило, не имеет достаточной для практических использований предсказательной точности.

5. Существующие методы расчета гидродинамических, кинематических и технологических параметров смешивания дисперсных систем требуют большого объема экспериментальных данных, которые трудно измерить с требуемой точностью.

Исходя из выше отмеченного, с учетом основных задач исследования можно детализировать направления работы:

1. С целью уменьшения энергетических затрат разработать перемешивающее устройство в виде классического роторного устройства с прикрепленными радиально трубками переменного сечения. Такое смешивающее устройство будет сочетать в себе простоту конструкции типовых роторных перемешивающих устройств с использованием эффекта прохождения жидкой смеси сквозь сопла.

2. Создать экспериментальную установку и применительно к разрабатываемому типу устройств, провести сравнительные испытания насадки предлагаемой конструкции с известными конструкциями в рамках типовых методик испытания смесительной аппаратуры;

3. Провести анализ и классификацию структурно-физических состояний водных композиций и возможных путей их модификации;

4. Экспериментально исследовать влияния режимных параметров на процесс механоактивации воды, водных суспензий и смазочных эмульсий роторными насадками;

5. Исследовать влияние конструкционных особенностей и режимов работы насадок роторной мешалки на структурно-физические свойства и агрегативную устойчивость смешиваемых гомогенных и гетерогенных водных композиций;

6. Разработать оценочные методики расчета нового устройства для смешивания водных композиций.

ГЛАВА 2. КОНСТРУКЦИЯ РОТОРНОГО СМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С НАСАДКАМИ ТИПА КОНФУЗОР-ДИФфуЗОР И АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В НЕМ

2.1. Конструкция смешивающего устройства

В результате анализа особенностей работы смешивающих устройств, с учетом влияния их на структурно-физические свойства и агрегативную устойчивость гомогенных и гетерогенных водных композиций было принято решение изготовить смешивающее устройство роторного типа с насадками переменного сечения. Предложенное в работе [81] устройство относится к типу смешивающих устройств с центральным вращающимся валом. Вращение вала вызывает прохождение смешиваемой жидкой композиции через трубки переменного сечения. Конструкция этого устройства представляет собой прикрепленные к ротору насадки конфузор-диффузор.

Принципиальная схема этого устройства представлена на рис. 2.1, и включает в себя вал 1, на котором смонтирован горизонтальный ротор 2 со спицами 4 и лопастями 3. На концах которых закреплены конфузор-диффузоры - 5.

Таким образом, роторная мешалка с насадками типа конфузор-диффузор представляет собой крестообразное стержневое устройство, на концах которого закреплены элементы конусной конфигурации, представляющие сочетание конфузора и диффузора, причем больший наружный диаметр конфузора, обращён в сторону вращения. В общем случае конструкция смешивающего устройства может включать от 1 до N насадок конфузор-диффузор. Практически в исследованиях использовались устройства, включающие 2 и 4 насадки.

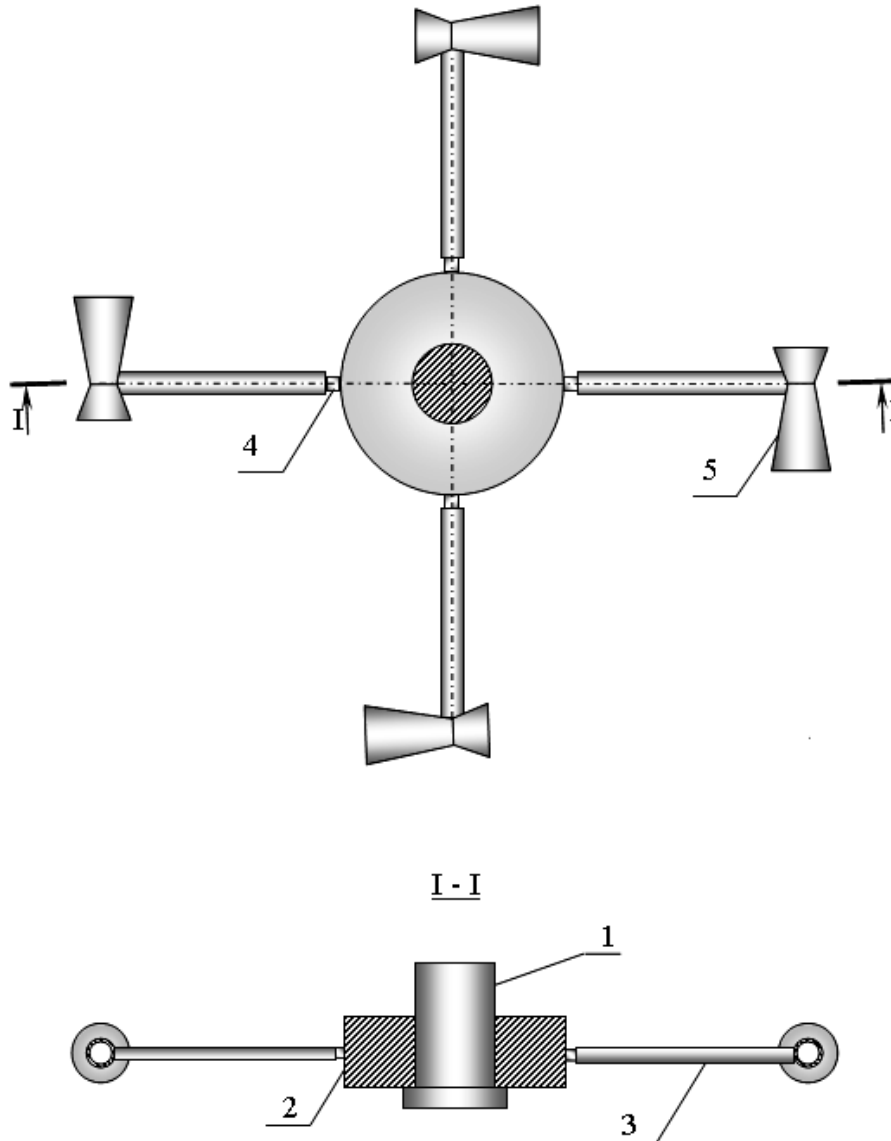


Рисунок 2.1 – Смешивающее устройство типа конфузор-диффузор: 1- вал; 2- ротор; 3- лопасть; 4- спица; 5- конфузор-диффузор

2.2. Особенности гидродинамического воздействия насадки типа конфузор-диффузор

Предложенная в работе [81] насадка предназначена для интенсивного смешивания жидких композиций. Общий принцип её работы состоит в том, что при вращении ротора композиция поступает внутрь конфузора, проходит сужающуюся область и попадает в диффузор, при выходе из которого

сталкивается с потоком композиции, движущимся с меньшей скоростью в радиальном направлении относительно траектории оси вращения конфузор-диффузора. В результате происходит гидроудар двух потоков, двигающихся с разными скоростями и в разных направлениях. Сложный характер гидродинамического взаимодействия двух закрученных потоков приводит к интенсивным разнонаправленным движениям композиции в смесительном аппарате.

При вращении конфузор-диффузора часть композиции обтекает насадку по внешней поверхности, имеющей вогнутую конфигурацию. При этом на внешней поверхности конфузор-диффузора возникает разрежение, которое вызывает подсосывание жидкости из окружающей среды, что в совокупности с центробежными силами приводит к дополнительному закручиванию композиции в направлении перпендикулярном оси вращения конфузор-диффузора.

Таким образом, в результате обтекания, подсосывания и прохождения композиции через насадку в сочетании с действием центробежных сил конфузор-диффузор создает в смесителе мощные сталкивающиеся турбулентные вихри [81].

2.3. Анализ гидродинамических явлений в конфузор-диффузоре

В настоящее время полностью физически обоснованные математические уравнения движения получены [82,83] для изотропных жидкостей с разными реодинамическими свойствами, движущихся внутри тел простой геометрической формы. Попытки получить строгое описание движения жидких дисперсных композиций в телах со сложной геометрией основаны на не всегда контролируемых допущениях [73,84-89], и пока не имеют достаточной предсказательной точности, с учетом необходимости длительных расчетов на ЭВМ. Поэтому экспериментальные исследования новых конструкций смесительных аппаратов являются единственной надежной основой, на которой базируется переход от экспериментальных к промышленным аппаратам.

Однако иногда даже незначительные конструкционные изменения в целях повышения эксплуатационных характеристик смесительных устройств требуют повторного проведения всего цикла экспериментальных исследований, что влечет дополнительные финансовые и временные затраты. Сократить уровень этих затрат позволяют упрощенные математические модели, полученные на основе результатов экспериментальных исследований.

Исследования показали, что в зависимости от скорости вращения ротора насадка типа конфузор-диффузор может работать в трех гидродинамических режимах: ламинарном, турбулентном и механоактивационном.

Ламинарный режим движения смешиваемой композиции из-за особенностей геометрии насадки возможен лишь при очень низких оборотах ротора. Практически насадка в основном предназначена для высокоинтенсивных процессов смешивания и работает в турбулентном режиме или режиме механоактивации. Это приводит к большим сложностям при математическом описании и расчете гидродинамической обстановки создаваемой движением конфузор-диффузора. При этом возможно лишь описание гидродинамических явлений на качественном уровне и расчет отдельных гидродинамических процессов, протекающих в конфузоре, диффузоре и насадке в целом, а провести комплексный количественный учет всех взаимосвязанных и взаимодействующих между собой гидродинамических явлений не представляется возможным.

При медленном вращении ротора конфузор-диффузор оказывает давление на композицию, находящуюся перед ним. В результате чего часть композиции обтекает конфузор и смешивается с окружающей насадку композицией. Другая часть композиции попадает внутрь конфузора. При этом на внешней поверхности конфузора возникает разрежение, которое вызывает подсосывание композиции из окружающей среды. В результате обтекания конфузора и диффузора образуются множественные завихрения композиции.

С увеличением числа оборотов ротора усиливаются завихрения, а действие центробежной силы на композицию, находящуюся в пространстве между конфузор-диффузорами будет увеличиваться. Вследствие этого происходит

движение композиции в радиальном направлении к периферии мешалки и одновременно с этим усиливается подсасывание композиции к области сужения насадки. Это приводит к возникновению турбулентных движений в массе композиции во всех направлениях. В результате чего происходит увеличение сечения потока смешивания и постепенная потеря его скорости по мере удаления от насадки.

Наличие всех этих процессов приводит к сложному хаотичному движению всего содержимого в объёме корпуса смешивающего устройства.

Важно отметить, что поток композиции, захваченный конфузуром при вращении насадки, ускоряется в нем в несколько раз. Кроме того, пройдя через сужение конфузурной области, композиция принимает в диффузоре форму конуса, расширяющегося по направлению от устья сопла к периферии. Такое движение вызывает следующую гидродинамическую обстановку [81]:

- поток композиции, вытекающий из диффузора, толкает перед собой композицию, находящуюся перед следующим конфузуром;
- происходит изменение направления движения этого потока за счет возникновения в нем тангенциальных напряжений;
- вытекающая из диффузора струя композиции ударяется о закручивающийся поток, движущейся с меньшей скоростью, в результате чего происходит интенсивное взаимодействие этих потоков.

Установлено [90], что в первом приближении для расчета скорости взаимодействия потоков на выходе из диффузора справедливо эмпирическое соотношение:

$$V = k\pi d_M n \frac{d_1^2}{d_2^2}, \quad (2.1)$$

где; d_M – диаметр мешалки, м; n – число оборотов ротора, об/с; d_1 , d_2 – соответственно наружные диаметры конфузора и диффузора, м; k – безразмерный коэффициент, учитывающий расстояние от центра оси конфузор-диффузора до оси вращения ротора:

$$k = \left(1 - \left| \frac{r_M - r}{r_M} \right| \right) * k_3, \quad (2.2)$$

где r_M - радиус мешалки, м; r - текущий радиус, м; k_3 - безразмерный коэффициент взаимодействия потоков, определяемый экспериментально.

При соударении двух потоков композиции со скоростью V происходит диспергирование компонентов находящихся в водной среде. Явление диспергирования приводит к интенсивному увеличению поверхности дисперсной фазы.

Особенности расчета гидродинамики смешивания в турбулентном режиме

При турбулентном режиме смешивания композиций гидродинамика представляет собой результат двух одновременно протекающих процессов [2,3,5,6]:

1. Конвективного переноса достаточно крупных элементов объема среды с направленным потоком жидкости;
2. Накладывающихся на конвективный перенос пульсационных движений разной скорости, амплитуды и направления. Эти турбулентные движения не имеют постоянных значений во времени.

Одним из возможных подходов математического моделирования такого процесса смешивания является описание гидродинамики осредненного направленного течения композиции в аппарате. Визуальные наблюдения и результаты многочисленных измерений свидетельствует о том, что общая картина течения и конкретные особенности поля скоростей композиции существенно зависят от геометрии конфузور-диффузора и соотношения размеров диаметра и высоты корпуса мешалки.

2.3.1. Гидродинамические явления в конфузор-диффузоре

Закономерности течения композиции внутри конфузор-диффузора должны учитывать специфику поля скоростей композиции на входе в конфузур.

Сложность гидродинамической обстановки в процессе смешивания сделать это не позволяет, и поэтому в первом приближении будем считать поток ламинарным. При этом расчет основывается на интегральных характеристиках струйных течений в трубе переменного сечения.

Формирование поля скоростей в конфузоре-диффузоре ламинарного потока композиции, захваченного конфузуром, определяется [84-87]:

- 1 - движущимися силами, приложенными к композиции извне;
- 2 - гидравлическим сопротивлением на поверхностях, ограничивающих поток композиции;
- 3 - обменом энергией между соседними слоями композиции.

Сам конфузор-диффузор можно разделить на три составляющие: конфузор, диффузор и переходный участок между ними (рис. 2.2).

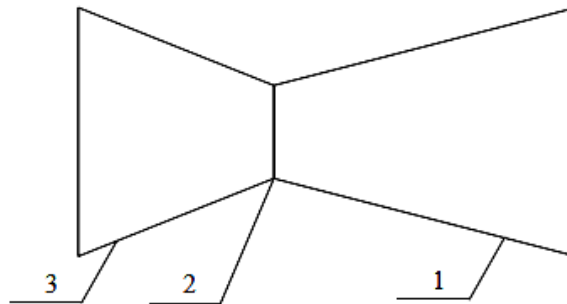


Рисунок 2.2 Схема конфузор-диффузора: 1- конфузор; 2- переходный участок; 3 - диффузор

Известно [84-87], что в конфузоре (рис. 2.3) течение композиции сопровождается увеличением скорости и падением давления.

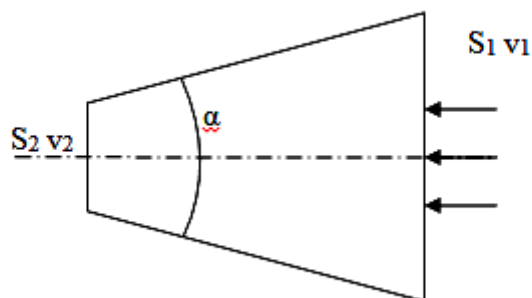


Рисунок 2.3 Конфузор

При этом потери на трение в конфузоре определяются следующим образом [84-87]:

$$h_{\text{конф}} = \frac{\lambda_T}{8 \sin(\alpha/2)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \frac{v_2^2}{2g}, \quad (2.3)$$

где коэффициент сопротивления конфузора имеет вид:

$$\zeta_{\text{конф}} = \frac{\lambda_T}{8 \sin(\alpha/2)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right), \quad (2.4)$$

где $n = S_1/S_2$ - степень сужения, λ_T - коэффициент потерь на трение, α - угол сужения конфузора.

Небольшое вихреобразование и отрыв потока от стенки с одновременным сжатием потока возникает лишь на выходе из конфузора.

В диффузоре (рис. 2.4) скорость течения характеризуется ее уменьшением и увеличением давления, а, следовательно, преобразованием кинетической энергии композиции в энергию давления.

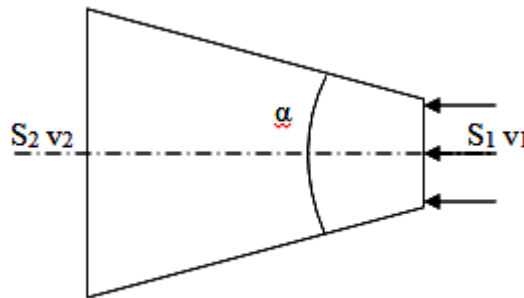


Рисунок 2.4 Диффузор

В диффузоре происходит отрыв основного потока от стенки и вихреобразование. Интенсивность этих явлений возрастает с увеличением угла расширения диффузора α .

Кроме того, в диффузоре имеются и обычные потери на трение, подобные тем, которые возникают в трубах постоянного сечения. Полная потеря напора в диффузоре зависит от суммы двух слагаемых [84-87]:

$$h_{\text{диф}} = h_{\text{тр}} + h_{\text{расш}}, \quad (2.5)$$

где $h_{\text{тр}}$ и $h_{\text{расш}}$ - потери напора на трение и расширение (вихреобразование).

Потери на трение определяются следующим образом:

$$h_{mp} = \frac{\lambda_T}{8 \sin(\alpha/2)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \frac{v_1^2}{2g}, \quad (2.6)$$

где $n = S_2/S_1 = (r_2/r_1)^2$ - степень расширения диффузора, λ_T – коэффициент потерь на трение.

Потеря напора на расширение $h_{расш}$ имеет ту же самую природу, что и при внезапном расширении русла течения:

$$h_{расш} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 k \frac{v_1^2}{2g}, \quad (2.7)$$

где k - коэффициент смягчения, при $\alpha = 5 \dots 20^\circ$, $k = \sin \alpha$.

Учитывая это, полную потерю напора можно переписать в виде:

$$h_{диф} = \left[\frac{\lambda_T}{8 \sin(\alpha/2)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) + k \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2 \right] \frac{v_1^2}{2g} = \zeta_{диф} \frac{v_1^2}{2g}, \quad (2.8)$$

откуда коэффициент сопротивления диффузора можно выразить формулой:

$$\zeta_{диф} = \frac{\lambda_T}{8 \sin(\alpha/2)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) + \sin \alpha \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2, \quad (2.9)$$

Функция $\zeta = f(\alpha)$ имеет минимум при некотором оптимальном значении угла α , значение которого определится следующим выражением:

$$\alpha_{opt} = \arcsin \sqrt{\frac{(n+1)\lambda_T}{(n-1)4}}, \quad (2.10)$$

При подстановке в эту формулу $\lambda_T = 0,015 \dots 0,025$ и $n = 2 \dots 4$ получим $\alpha_{opt} = 6$ (рис. 2.5).

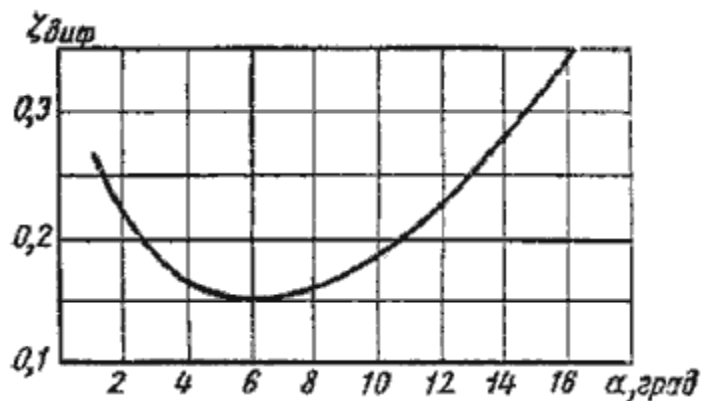


Рисунок 2.5 Зависимость $\zeta_{диф}$ от угла раскрытия диффузора α

При движении композиции в переходном участке между конфузуром и диффузором происходит явление, связанное с локальными изменениями агрегатного состояния воды, как основного компонента композиции, т.е. выделением из воды растворенных в ней газов.

Вода под давлением движется от сечения 1-1 через сужение 2-2 к сечению 3-3(рис. 2.6).

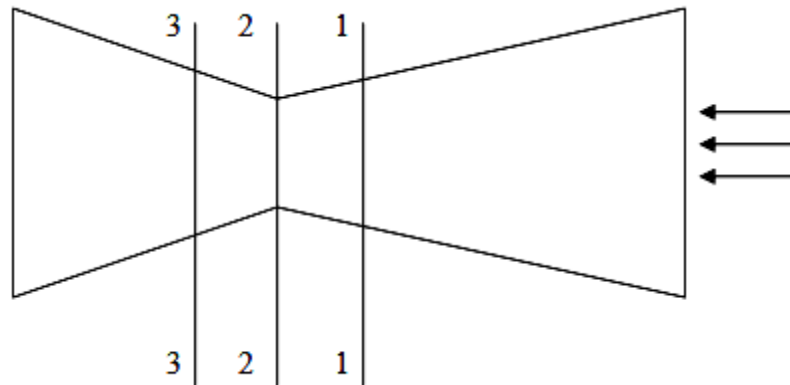


Рисунок 2.6 Переходный участок

При небольшой скорости агрегатных изменений при движении композиции не происходит. В случае увеличения скорости движения композиции в узком сечении трубки 2-2 появляется зона, в которой в жидких компонентах может происходить образование пузырьков газа. Образуется область местного газовыделения, т.е. образование микропузырьков, растворенных в воде. Далее при подходе воды к сечению 3-3 это явление исчезает, так как большинство микропузырьков газа схлопывается.

Такое явление обусловлено тем, что при движении жидкой среды давление в ней падает. Причем, чем выше скорость движения среды, тем давление в ней ниже. Поэтому, при течении жидкости через местное сужение 2-2, согласно уравнению неразрывности течений, увеличивается скорость с одновременным падением давления в этом месте [85,87]. Если абсолютное давление при этом достигает значения равного давлению насыщенных паров жидкости при данной температуре или значения равного давлению, при котором начинается выделение из нее растворимых газов, то в данном месте потока наблюдается интенсивное

газообразование (кипение), приводящее к разрыву сплошности воды. При дальнейшем движении жидкости в сечении 3-3, пузырьки исчезают, т.е. происходит быстрое уменьшение размеров микропузырьков под действием возрастающего давления. В то время, когда пузырек исчезает (схлопывается), в точке его схлопывания происходит резкое увеличение давления, которое передается на соседние объемы жидкости. При этом от многочисленных локальных повышений давлений (гидроударов), возникает сильная вибрация в композиции.

2.3.2. Влияние на смешивание геометрии насадки конфузор-диффузор

Практически наиболее естественным и доступным способом воздействия на гомогенизацию жидких потоков является варьирование геометрических характеристик корпуса смесителя, а также скорости вращения ротора и геометрии смешивающего устройства.

Смешивание композиции на микроуровне главным образом определяется молекулярной диффузией. На её интенсивность существенное влияние оказывают многие физические характеристики потоков композиции, в частности, температура, плотность и вязкость, дисперсный состав и т.д. Увеличение вязкости и уменьшение плотности композиций, подаваемых в смесительный аппарат, может привести к тому, что гомогенизация потоков будет лимитироваться малоэффективной молекулярной диффузией. Оптимизировать работу аппарата в этом случае можно за счет увеличения скорости движения композиции и увеличения турбулентных пульсаций в ней [91].

Уменьшение диаметра аппарата приводит к снижению характерных времен смешивания, что является ключом к проведению быстрых процессов в оптимальных условиях. Использование аппаратов с малыми диаметрами приводит к более равномерной турбулизации композиции во всем объеме смесительного аппарата, что вызывает увеличение средних значений диссипации в ней удельной кинетической энергии. Диссипация кинетической энергии

определяет интенсивность смешения на микроуровне, возникающей при мелкомасштабных сдвиговых деформациях. От интенсивности мелкомасштабных сдвиговых деформаций зависит получение тонкодисперсных эмульсий и суспензий [91,92].

Эффективность работы насадки типа конфузор-диффузор определяется совокупностью факторов:

- для конфузора: угла сужения, степени сужения, относительной длины;
- для диффузора: угла расширения; степени расширения; относительной длины;
- для области перехода конфузор-диффузор: относительной длины.

Важно отметить, что изменение агрегатного состояния воды при высокоскоростном протекании композиции через область сужения конфузор-диффузора и связанные с этим явления микрогидроударов, которые вызывают интенсивную пульсацию композиции, а значит и мелкомасштабную высокочастотную вибрацию способствует получению тонкодисперсных эмульсий и суспензий.

Задача определения оптимальных геометрических характеристик конфузор-диффузора и скорости его вращения для получения тонкодисперсных композиций с заданными физико-химическими свойствами и требуемыми структурно-физическими характеристиками не имеет расчетных перспектив и должна решаться в рамках экспериментальных исследований.

Для создания агрегативно-устойчивых дисперсных водных композиций необходимо разработать насадку конфузор-диффузор, позволяющую получить сильно турбулентные течения с вихреобразованием и кавитацией. С учетом влияния геометрии насадки на коэффициент сопротивления, целесообразно выполнить насадку, имеющую в конфузорной части угол сужения в диапазоне 10^0 - 40^0 , в диффузорной части угол расширения в диапазоне 12^0 - 60^0 . При соединении конфузора и диффузора их сопротивления будут оказывать взаимное влияние друг на друга, причем, чем больше соотношение длины переходной части

к ее диаметру, тем больше сопротивление переходного участка от конфузора к диффузору [93].

С учетом вышеизложенного была сконструирована насадка конфузор-диффузор, имеющая следующие геометрические размеры:

Диаметр мешалки: $d_M=0,73D_{\text{ап}}$, где $D_{\text{ап}}$ – диаметр аппарата;

Длина мешалки: $L=0,47d_M$;

Входной диаметр конфузора, выходной диаметр диффузора: $d_{\text{к,вых}}=d_{\text{д,вых}}=0,15D_{\text{ап}}$;

Выходной диаметр конфузора, входной диаметр диффузора: $d_{\text{к,вых}}=d_{\text{д,вх}}=0,07D_{\text{ап}}$;

Угол сужения конфузора: $\alpha_{\text{к}}=16^{\circ}$;

Угол расширения диффузора: $\alpha_{\text{д}}=47^{\circ}$;

Относительная длина конфузора: $l_{\text{к}}/d_{\text{к,вх}}=1,83$;

Относительная длина диффузора: $l_{\text{д}}/d_{\text{д,вх}}=0,09$;

Относительная длина переходного участка от конфузора к диффузору: $l_{\text{к-д}}/d_{\text{к-д}}=0,27$.

2.3.3. Смешивание в режиме механоактивации и проблемы теоретического исследования механоактивационных явлений

Механоактивация является относительно молодой и активно развивающейся отраслью научного знания [1,17-19]. Интерес к механическим методам ускорения физико-химических явлений начал проявляться в конце XIX века. В результате механохимических явлений может изменяться морфология, структура и химический состав веществ подвергающийся механоактивации. Объектами механохимии являются исследования, направленные на выяснение вопроса: каким образом механическая энергия переходит в энергию химических связей.

Однако расчет механоактивационных явлений, протекающих в условиях сложной гидродинамической обстановки в смешиваемых композициях за счет

механической энергии, генерируемой роторными насадками, представляет значительные математические трудности. Корректное описание явлений механоактивации, происходящих при столкновении молекул, можно провести только в рамках кинетической теории микроскопических статистических систем.

Основополагающий вклад в развитие кинетической теории микроскопических статистических систем был сделан Людвигом Больцманом, Джосайей Гиббсом и академиком Н.Н. Боголюбовым [89]. Наиболее исследованной областью неравновесных статистических систем являются газовые системы частиц с резко убывающим потенциалом межчастичного взаимодействия в условиях сильных бинарных столкновений, когда траектории сталкивающихся частиц определяются законами сохранения энергии и импульса.

В системах высокой плотности, к которым относятся жидкости, потенциал межчастичного взаимодействия убывает плавно, а изменения импульсов при взаимодействиях малы. Корректное описание поведения системы состоящей из N частиц требует введения $6N$ мерного фазового пространства, так как каждая частица характеризуется 3-мя пространственными координатами и 3-мя составляющими импульса, определяющими направление её движения [73].

Однако при большом числе частиц определить временную эволюцию системы в фазовом пространстве из некоторого начального состояния не представляется возможным даже с использованием самых современных ЭВМ, более того трудно даже записать в явном виде соответствующие кинетические уравнения. Поэтому для анализа кинетических закономерностей в основном используются весьма грубые оценки поведения в виде одночастичных и двухчастичных функций. При этом в зависимости от природы исследуемой системы релаксационная динамика перехода её из одного стационарного состояния в другое рассматривается в условиях дополнительных ограничений на характер взаимодействий в системе, приводящих к множеству различного вида дифференциальных или интегро-дифференциальных уравнений [73,89,94-97].

Существующее в настоящее время состояние теоретических исследований столкновения частиц в средах высокой плотности в различных

гидродинамических режимах течения не позволяет корректно описать даже качественный характер поведения частиц при столкновениях вызывающих механоактивационные явления.

Таким образом, изучение механоактивационных явлений, возникающих при столкновениях смешиваемых компонентов в гомофазных или гетерофазных композициях, должно основываться на экспериментальных исследованиях.

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

3.1. Описание экспериментальной установки

Сравнительные испытания роторной насадки предлагаемой конструкции с известными конструкциями роторных насадок были проведены на спроектированной и изготовленной для этой цели экспериментальной установке, показанной на рис. 3.1.

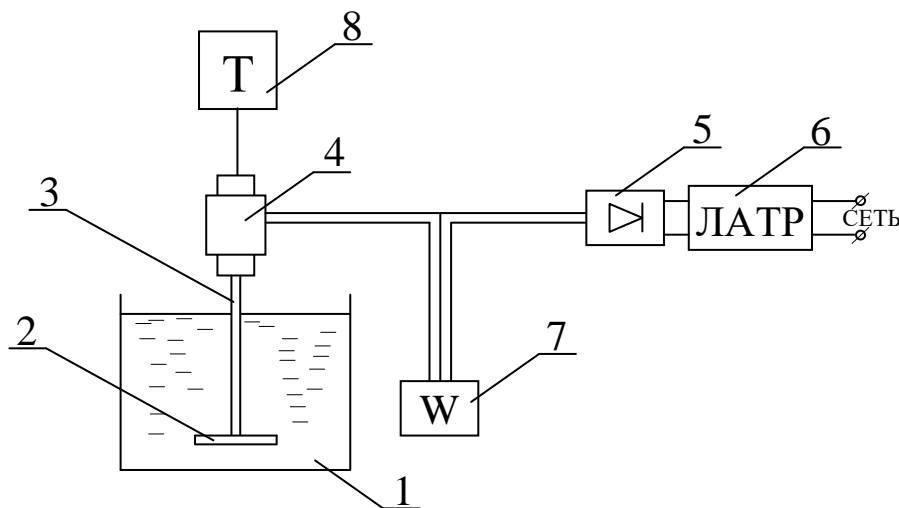


Рисунок 3.1 Схема экспериментальной установки: 1 – сосуд; 2 – насадка; 3 – шток ротора; 4 – электродвигатель; 5 – выпрямитель; 6 – лабораторный автотрансформатор; 7 – ваттметр; 8 – тахометр.

Эта экспериментальная установка с разными типами насадок использовалась при проведении испытаний процессов перемешивания воды и водных растворов и механоактивационных процессов, а также получения гомогенных и гетерогенных водных дисперсных композиций.

Установка состоит из цилиндрического стеклянного сосуда без перегородок 1 и штока ротора 3, насаженного на вал электродвигателя постоянного тока 4. Плавное регулирование напряжения осуществлялось лабораторным

автотрансформатором 6, а постоянное напряжение создавалось выпрямителем 5. Привод для вращения насадки 2 был применен безредукторный, что снизило погрешности измерения, которые вносились бы потерями на трение в редукторе.

Для измерения мощности, потребляемой мешалкой, при разных частотах вращения ротора использован ваттметр 7, а изменение частоты вращения проводилось с помощью лабораторного автотрансформатора 6, при этом контроль напряжения, подаваемого на электродвигатель, осуществлялся по вольтметру, установленному на этом автотрансформаторе. Измерение частоты вращения вала электродвигателя осуществлялось стробоскопическим тахометром 8.

3.2. Система измерений и применяемая аппаратура

К измеряемым параметрам относились величины электрического напряжения и мощности, потребляемой электродвигателем мешалки, частоты вращения вала электродвигателя, высота воронки в сосуде, а также показатели температуры и pH обрабатываемых жидкостей.

- Для измерения электрического напряжения использовался вольтметр Э378 ГОСТ 8711-60, установленный на лабораторном автотрансформаторе типа ЛАТР-1 со следующей технической характеристикой:

| | |
|---|------------|
| Регулируемое напряжение, В | 0 – 250 |
| Ток, А | ≤ 4 |
| Контрольный прибор | Вольтметр |
| Техническая характеристика вольтметра Э378: | |
| Измеряемое напряжение, В | 0 – 250 |
| Род тока | Переменный |
| Цена деления, В | 10 |
| Класс точности прибора | 1,5 |

- Мощность, потребляемая мешалкой, измерялась при помощи лабораторного ваттметра Д50043, предназначенного для измерения мощности в однофазных цепях переменного и постоянного тока. Класс точности 0,5 по ГОСТ 8476-78. Номинальный ток: 1А; 2А. Номинальное напряжение: 30 В; 75 В; 150 В; 300 В; 450 В; 600 В.

Мощность, потребляемая в последовательной цепи в нормальной области частот, не превышает 0,35 ВА, в рабочей области частот – 0.7 ВА. Нормальная область частот от 45 до 65 Гц. Рабочая область частот свыше 65 до 500 Гц. Номинальный коэффициент мощности 1. Номинальный ток параллельной цепи 3 мА.

Предел допускаемой дополнительной погрешности ваттметра, вызванной отклонением частоты от 65 Гц до любой частоты в рабочей области частот, равен $\pm 0,5 \%$ от конечного значения диапазона измерений. Время установления показаний не более 4с.

- Частота вращения вала измерялась стробоскопическим тахометром 2ТСт ГОСТ 21339-82 с пределом измерений 9999×10^5 мин⁻¹. Класс точности прибора 0,2.

- Измерения высоты воронки производились при помощи, наклеенной на сосуд измерительной линейки, выполненной из миллиметровой бумаги.

- Температура жидкостей измерялась ртутным, стеклянным лабораторным термометром ТЛ-2 М №4 ТУ 25-2021.003-88, со следующей технической характеристикой:

| | |
|--|-------|
| Минимальная температура измерения, °С | 0 |
| Максимальная температура измерения, °С | + 250 |
| Цена деления шкалы, °С | 1 |
| Длина термометра, мм | 320 |
| Диаметр термометра, мм | 8±1 |
| Термометрическая жидкость | ртуть |

- Показатели кислотности измерялись иономером универсальным ЭВ-74. Пределы измерения преобразователем величины рХ: -1...+19 рХ.

Определение количества ионов, образовавшихся в процессах механоактивации воды и водных растворов, является одной из основных измеряемых характеристик. В случае активации воды образуется пара разноименно заряженных ионов и, соответственно, можно определять величины pH^+ или pOH^- .

В общем случае пределы измерения величины pX отрицательно или положительно заряженных ионов определяются типами используемых измерительных электродов входящих в комплект иономера. Для калибровки иономера применяются контрольные растворы. При измерении pH в качестве контрольных использовались стандартные буферные растворы.

Принцип действия прибора заключается в следующем: для измерения активности ионов в растворах используется электродная система с ионоселективными измерительными электродами и преобразователь. Электродвижущая сила электродной системы зависит от активности соответствующих ионов в исследуемом растворе. Значение pX исследуемого раствора определяется измерением э. д. с. электродной системы с помощью преобразователя, шкала которого проградуирована в единицах pX . Градуировочные значения э. д. с. могут быть также вычислены при помощи уравнений.

- Анализ дисперсного состава получаемых эмульсий и суспензий проводился с использованием электронного микроскопа «Микромед - 3».

Бинокулярный микроскоп «Микромед - 3» вар. 2-20 предназначен для наблюдения и морфологических исследований препаратов в проходящем свете по методу светлого поля, а также по методу темного поля и фазового контраста.

Микроскоп может быть использован в различных областях науки. На бинокулярном микроскопе можно изучать окрашенные и неокрашенные объекты в виде мазков и срезов.

Микроскоп позволяет выводить изображение в режиме реального времени на экран ПК с помощью видеоокуляра. Видеоокуляр устанавливается в один из тубусов визуальной насадки при помощи переходника 23,2-30 мм.

Микроскоп рассчитан на длину тубуса "бесконечность", объективы стандарта DIN, парфокальная высота объективов 45 мм.

Характеристики:

- Увеличение микроскопа, крат 40 - 1000 (1600*/2000* - опция)
- Визуальная насадка бинокулярная, диоптрийная настройка ± 5 диоптрий на левом тубусе, посадочный диаметр окуляров 30 мм
- Угол наклона визуальной насадки, град 30
- Регулируемое межзрачковое расстояние, в пределах, мм 48 - 75
- Объективы 4x/0,1; 10x/0,25; 40x/0,65; 100x/1,25 ми (20x/0,4*; 60x/0,85* - опция)
- Предметный столик, мм 190x160 без выступающих зубчатых реек
- Диапазон перемещения препарата, мм 65 x 45 (с маркировкой на столике 80x60)
- Источник света - галогеновая лампа, В/Вт 12/20
- Источник питания - сеть переменного тока, В/Гц 220 \pm 22/50

3.3. Компоненты, используемые в экспериментальных исследованиях

В экспериментальных исследованиях использовались следующие компоненты:

Вода

Для работ в строительном производстве, в соответствии с ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия», применяется вода [98]:

- - питьевая по ГОСТ 2874;
- - естественная поверхностная и грунтовая;
- - техническая;
- - морская и засоленная;

- -вода после промывки оборудования для приготовления и транспортирования бетонных и растворных смесей;
- - комбинированная – смесь из двух или более указанных выше источников.

Кислотность воды может быть от 4 до 12,5.

Такая вода не должна содержать жиров, масел, пленок нефтепродуктов.

Дистиллированная вода

Соответствует требованиям ГОСТ 6709-72 «Вода дистиллированная. Технические условия» [99]. Наличие примесей, содержащихся в дистиллированной воде, приведено в таблице 3.1:

Таблица 3.1

| Наименование показателя | Норма |
|--|---------|
| Массовая концентрация остатка после выпаривания, мг/дм (не более) | 5 |
| Массовая концентрация аммиака и аммонийных солей, мг/дм (не более) | 0,02 |
| Массовая концентрация нитратов, мг/дм (не более) | 0,2 |
| Массовая концентрация сульфатов, мг/дм (не более) | 0,5 |
| Массовая концентрация хлоридов, мг/дм (не более) | 0,02 |
| Массовая концентрация алюминия, мг/дм (не более) | 0,05 |
| Массовая концентрация железа, мг/дм (не более) | 0,05 |
| Массовая концентрация кальция, мг/дм (не более) | 0,8 |
| Массовая концентрация меди, мг/дм (не более) | 0,02 |
| Массовая концентрация свинца, мг/дм (не более) | 0,05 |
| Массовая концентрация цинка, мг/дм (не более) | 0,2 |
| Массовая концентрация веществ, восстанавливающих KMnO ₄ , г/дм (не более) | 0,08 |
| рН воды | 5,4-6,6 |
| Удельная электрическая проводимость при 20 °С, См/м, (не более) | 5·10 |

Масло растительное

Растительное масло «Славная традиция», производства ОАО «Кубаньхлебопродукт», соответствует ГОСТ Р 52465-2005 [100]. Данное масло предназначено для непосредственного употребления в пищу, производства пищевых продуктов и промышленной переработки [100]. В соответствии с ГОСТ масло может использоваться для технических изделий.

Цемент

Цемент М 500 ДО, Артэкстрой. Состав: портландцемент ПЦ 500 ДО, соответствующий ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» [101].

Химический состав портландцемента, %:

- SiO_2 - 20,55-22,55;
- Al_2O_3 - 4,6-5,5;
- Fe_2O_3 - 4,66-5,05;
- CaO - 64,2-65,7;
- MgO - 1,65-2,5;
- SO_3 - 2,5-3;
- Cl - 0,02;
- CaO свободная - 0,25-0,75

Содержание основных минералов в портландцементе в %:

- C_3S - 60-65;
- C_2S - 13,2-16,5;
- C_3A - 6,4-7,1;
- C_4AF - 10,8-15,7.

Физические свойства портландцемента:

- Тонкость помола, % - 5,0-8,0
- Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{кг}$ – 320 – 325.

Парафин

Парафин, используемый в экспериментальных исследованиях, соответствует СТО 00148636-004-2007. Парафин предназначен для использования в качестве сырья в различных отраслях промышленности и представляет собой смесь твердых углеводородов метанового ряда.

При исследовании процесса активации и структуры растворов использовалась дистиллированная вода, растворы 0,005%, 0,5% и 5% хлорида натрия в дистиллированной воде и раствор перманганата калия в дистиллированной воде.

При исследовании процессов смешивания с водопроводной водой в качестве компонентов использовались: масло, цемент, парафин.

3.4. Методика проведения экспериментов на установке для перемешивания водных композиций

Методика экспериментов перемешивания была направлена на получение достоверных данных при сравнительных испытаниях насадки конфузور-диффузор с известными конструкциями насадок иного типа.

Исследования процесса перемешивания воды и водных растворов проводились на установке, представленной на рис. 3.1, для пяти типов насадок: диск, пропеллер, трубки переменного сечения, конфузур, конфузур-диффузор, показанных на рис. 3.2. Диаметры всех насадок одинаковы, т.е. имеют фиксированный размер. В результате чего в экспериментах при одинаковых частотах вращения имеем одну и ту же скорость вращения, что важно для сравнительных экспериментов.

Эксперименты проводились в следующей последовательности. В аппарат заливалась вода, на уровень 60 мм от дна сосуда для всех типов роторных насадок. Затем с помощью регулятора ЛАТР устанавливалось напряжение, подводимое к электродвигателю. После чего производилась регистрация

потребляемой мешалкой мощности, высоты воронки жидкости в смесительном сосуде и частоты вращения вала электродвигателя. Указанная последовательность повторялась 8-10 раз с определенным шагом задаваемого напряжения.

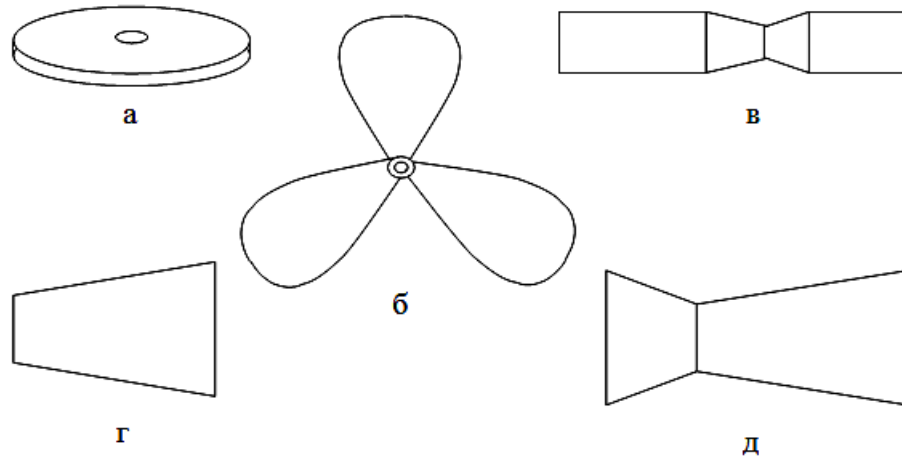


Рисунок 3.2 Насадки, использованные в экспериментах: а - дисковая; б - пропеллерная; в - трубки переменного сечения; г - конфузур; д - конфузур-диффузор.

- Исследования по влиянию конструкции насадки:
 - на агрегативную устойчивость механоактивированных масляных эмульсий;
 - на диспергирование и стабилизацию агрегативно-неустойчивых водных суспензий;
 - на однородность и реодинамику смешиваемого цементного теста
- проводились на установке, представленной на рис. 3.1 с использованием насадок, представленных на рис. 3.2.

В аппарат помещались необходимые компоненты. Затем с помощью регулятора ЛАТР устанавливалось напряжение, подводимое к электродвигателю. После чего производилась регистрация параметров, и отбирались пробы получаемых эмульсий и суспензий. Указанная последовательность повторялась 8-10 раз с определенным шагом задаваемого напряжения.

- Исследования процесса активации воды проводились на установке, представленной на рис. 3.1 с использованием насадок, представленных на рис. 3.2.

В аппарат заливалась вода объемом 1 литр. Регулятором ЛАТР устанавливалось напряжение, подводимое к электродвигателю, необходимое для достижения определенных частот вращения. После определенного времени перемешивания производился отбор проб для измерения рН воды. Указанная последовательность повторялась 8-10 раз с определенным шагом задаваемого напряжения.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

4.1. Определение расхода энергии, затрачиваемого на перемешивание

Для расчета мощности, потребляемой мешалкой в первую очередь необходимо определить диапазон движения жидкости в аппарате:

- ламинарный режим движения: $Re \leq 10^2$;
- переходный режим движения: $10^2 \leq Re \leq 10^3$;
- турбулентный режим движения: $Re \geq 10^3$.

Уравнение для расчета критерия Рейнольдса имеет вид [36]:

$$Re_M = \frac{\rho \cdot n \cdot d_M^2}{\mu}, \quad (4.1)$$

где ρ – плотность перемешиваемой жидкости, кг/м^3 , n – число оборотов мешалки, с^{-1} , d_M – диаметр мешалки, м, μ – динамический коэффициент вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Для роторной мешалки с насадкой два конфузور-диффузора получены зависимости числа Рейнольдса от частоты вращения мешалки и скорости вращения мешалки, представленные на рис. 4.1, 4.2.

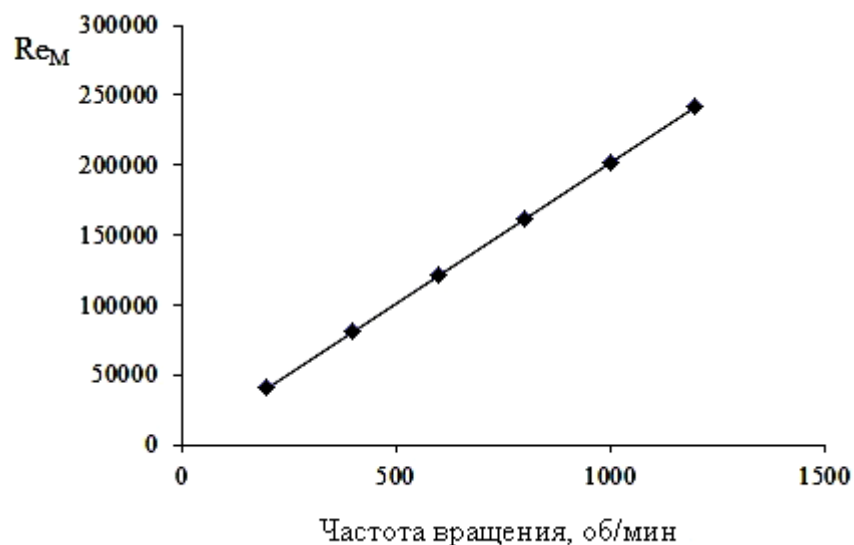


Рисунок 4.1 Зависимость числа Рейнольдса от частоты вращения мешалки

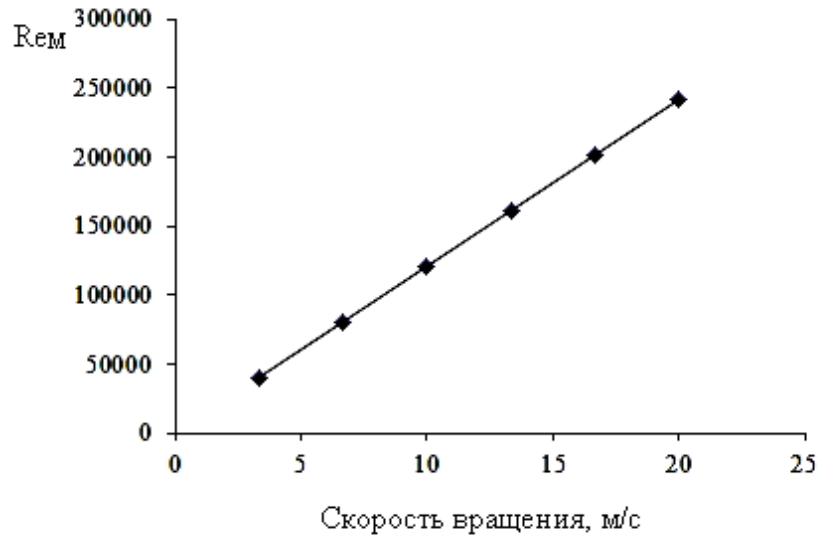


Рисунок 4.2 Зависимость числа Рейнольдса от скорости вращения мешалки

Для определения расхода энергии используют безразмерный критерий Эйлера [36]:

$$Eu_M = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} \quad (4.2)$$

Расход энергии при механическом перемешивании определяется [36]:

$$K_N = Eu_M, \quad (4.3)$$

Зная значение мощности, затраченной на перемешивание находим K_N и получаем графические зависимости коэффициента мощности от числа Рейнольдса и скорости вращения, представленные на рис. 4.3, 4.4.

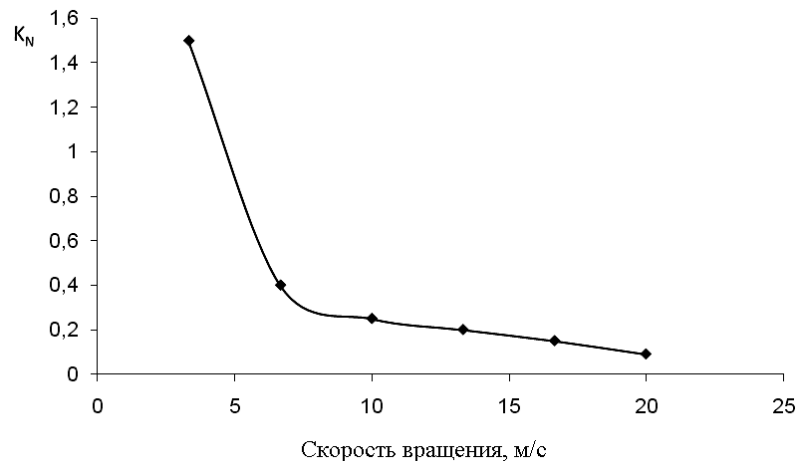


Рисунок 4.3 Зависимость коэффициента мощности от скорости вращения

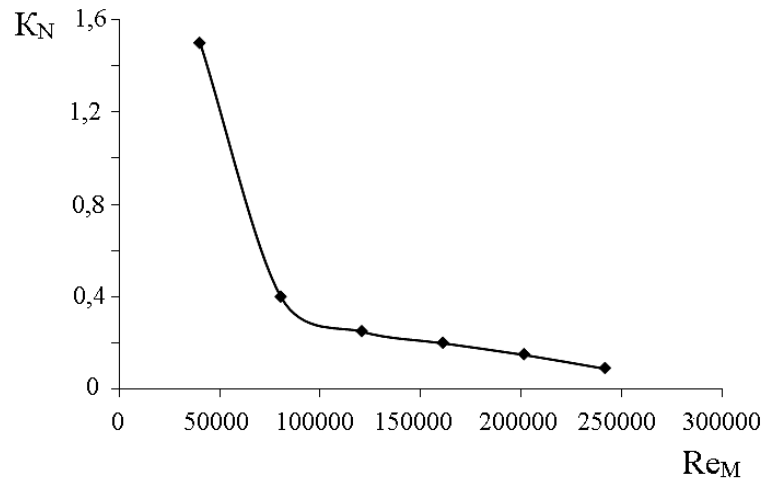


Рисунок 4.4 Зависимость коэффициента мощности от числа Рейнольдса

Получены зависимости коэффициента мощности от числа Рейнольдса, для двух режимов течения жидкости:

$$K_N = -2,73 \cdot 10^{-5} * Re_M + 2,599, \quad 40000 \leq Re_M \leq 80000 \quad (4.4)$$

$$K_N = 7 \cdot 10^6 * Re_M^{-1,453}, \quad Re_M > 80000. \quad (4.5)$$

Из графика, рис. 4.1 видно, что при увеличении частоты вращения увеличивается значение числа Рейнольдса и насадка в основном работает в турбулентном режиме, начиная с 200 об/мин. Кроме того, при увеличении скорости вращения, рис. 4.4, коэффициент мощности значительно снижается, это показывает, что насадку два конфузور-диффузора эффективнее использовать при скоростях вращения более 5 м/с.

4.2. Экспериментальные исследования интенсивности перемешивания воды и водных растворов различными насадками роторной мешалки

Оценка интенсивности перемешивания проводилась по:

- высоте воронки жидкости в сосуде в зависимости от потребляемой мощности;
- высоте воронки жидкости в сосуде в зависимости от диаметра сосуда;

- скорости растворения соли в воде;
- однородности структуры раствора перманганата калия в дистиллированной воде;
- изменению температуры водопроводной воды в процессе перемешивания.

По результатам экспериментальных исследований были построены графические зависимости высоты воронки от потребляемой мощности, высоты воронки от потребляемой мощности и диаметра сосуда, времени полного растворения соли от частоты вращения мешалок и получены микрофотографии структур растворов KMnO_4 в дистиллированной воде, образующихся в процессе перемешивания, изменения температуры воды от частоты перемешивания.

4.2.1. Влияние потребляемой мощности на изменение высоты воронки жидкости

Для определения влияния потребляемой мощности на интенсивность перемешивания в установке, показанной на рис. 3.1, вода перемешивалась различными насадками ($d = 110$ мм) роторной мешалки в сосудах с внутренним диаметром $D = 150$ мм и $D = 245$ мм. При этом измерялись следующие показания: потребляемая мешалкой мощность и высота воронки. По результатам эксперимента построены кривые, представленные на рис. 4.5, 4.6, отображающие зависимость высоты воронки от задаваемой мощности для всех типов насадок роторной мешалки.

Из анализа рис. 4.5 и рис. 4.6 видно, что более высокую интенсивность перемешивания обеспечивают насадки следующих типов: две трубки переменного сечения, два конфузора и два конфузор-диффузора. При одинаковой величине затраченной энергии эти насадки обеспечивают большую величину воронки, чем пропеллерная и дисковая насадки.

В случае применения пропеллерной насадки наблюдалась интенсивная циркуляция жидкости в вертикальном сечении аппарата. Однако, касательное

напряжение, возникающее между жидкостью и лопастью этой насадки мало, т.к. площадь контакта меньше, чем у дисковой насадки, этим объясняется особенность изменения высоты воронки для насадок диск и пропеллер при увеличении мощности перемешивания.

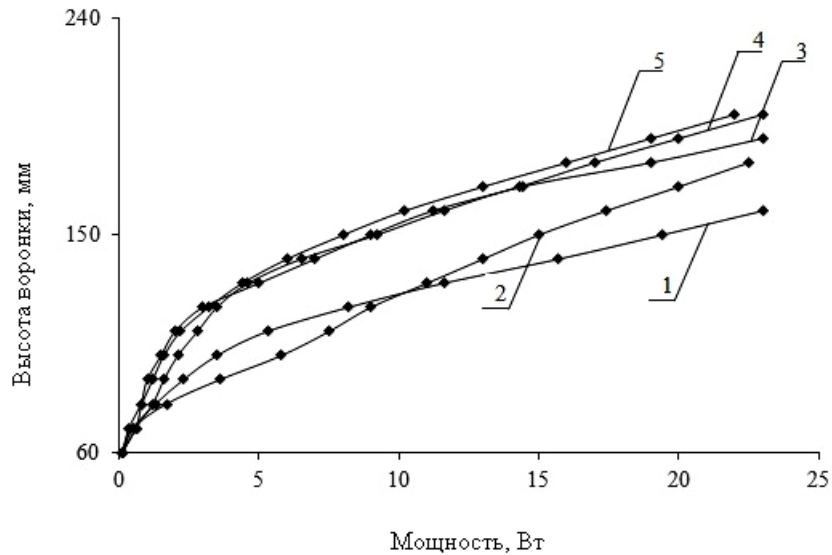


Рисунок 4.5 Зависимость высоты воронки от потребляемой мощности для разных типов насадок роторной мешалки в сосуде диаметром $D = 150$ мм: 1-диск; 2- пропеллер; 3-две трубки переменного сечения; 4 – два конфузора; 5- два конфузор-диффузора

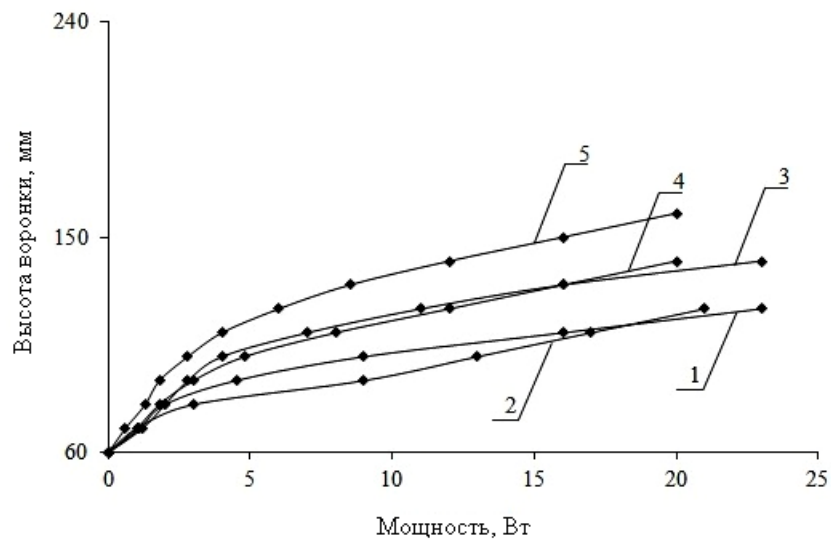


Рисунок 4.6 Зависимость высоты воронки от потребляемой мощности для разных типов насадок роторной мешалки в сосуде диаметром $D = 245$ мм: 1-диск; 2- пропеллер; 3-две трубки переменного сечения; 4 – два конфузора; 5- два конфузор-диффузора

Анализ зависимостей показывает, что мешалка с насадкой два конфузор-диффузора затрачивает меньшую мощность для получения необходимых гидродинамических условий перемешивания, об этом же свидетельствуют данные о высоте воронки, которые косвенно подтверждают более высокие значения масштаба турбулентных пульсаций, определяющих эффективность процесса перемешивания.

4.2.2. Исследование влияния диаметра сосуда на интенсивность перемешивания разными насадками роторной мешалки

Для определения влияния диаметра цилиндрического сосуда на интенсивность перемешивания в установке, показанной на рис. 3.1, вода перемешивалась различными насадками ($d = 110$ мм) роторной мешалки в сосудах с внутренним диаметром $D=150$ и 245 мм. При этом измерялись следующие параметры: потребляемая мешалкой мощность и высота воронки для каждого типа роторной насадки.

Из результатов эксперимента, показанных на рис. 4.7 – рис. 4.11 следует, что с увеличением диаметра сосуда интенсивность перемешивания (высота воронки) при одинаковых условиях (одинаковой мощности, затрачиваемой на перемешивание) уменьшается для всех типов роторных насадок.

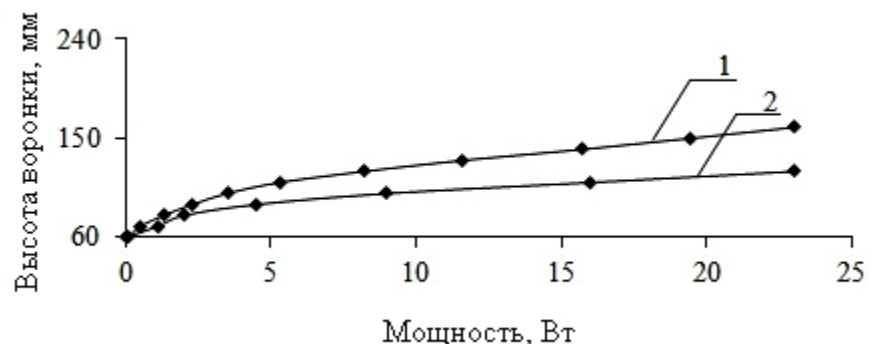


Рисунок 4.7 Зависимость высоты воронки от мощности перемешивания дисковой насадкой при диаметре сосуда: 1- 150 мм; 2 – 245 мм

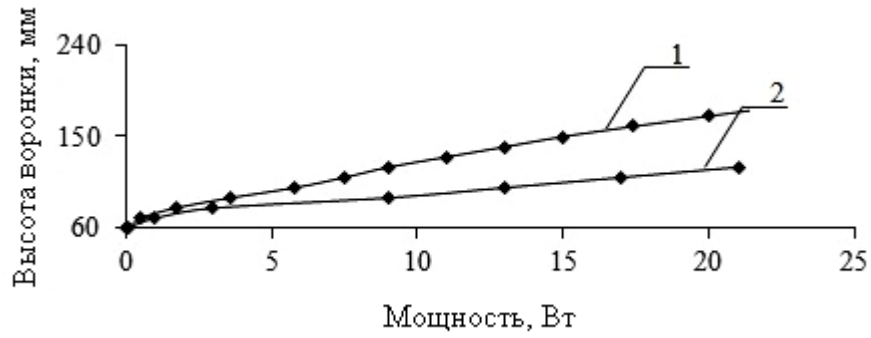


Рисунок 4.8 Зависимость высоты воронки от мощности перемешивания пропеллерной насадкой при диаметре сосуда: 1- 150 мм; 2 – 245 мм

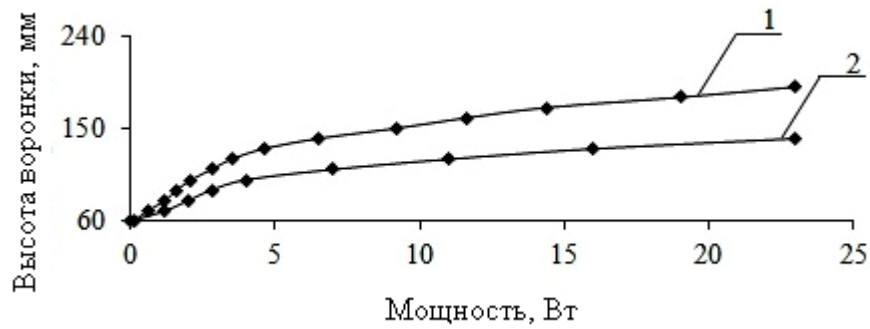


Рисунок 4.9 Зависимость высоты воронки от мощности перемешивания насадкой две трубки переменного сечения при диаметре сосуда: 1- 150 мм; 2 – 245 мм

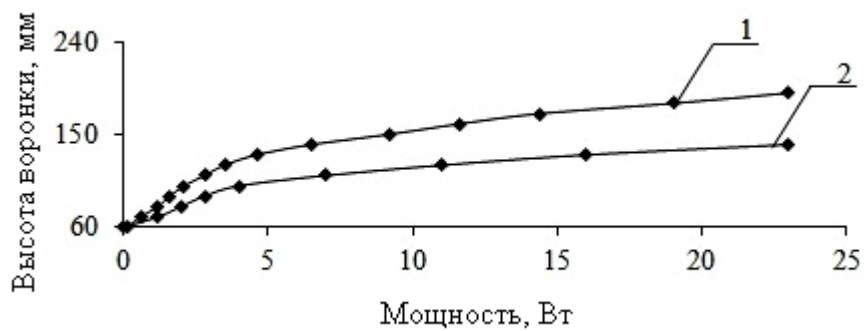


Рисунок 4.10 Зависимость высоты воронки от мощности перемешивания насадкой два конфузора при диаметре сосуда: 1- 150 мм; 2 – 245 мм

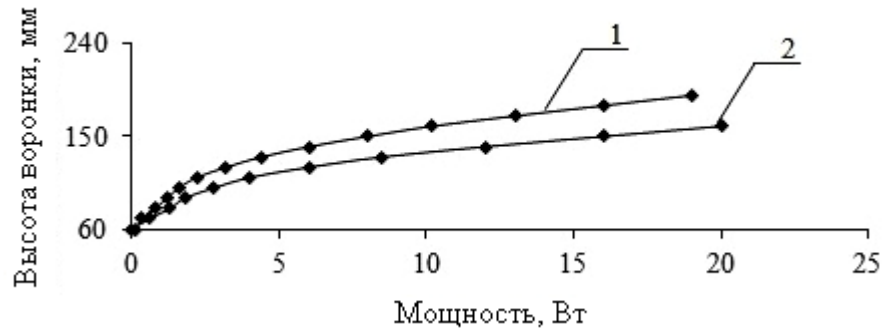


Рисунок 4.11 Зависимость высоты воронки от мощности перемешивания насадкой два конфузор-диффузора при диаметре сосуда: 1- 150 мм; 2 – 245 мм

Это связано с увеличением объема перемешиваемой воды и расстояния между насадкой и стенкой сосуда, влияющего на гидродинамические особенности процесса перемешивания.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 4.7 – 4.11, показывает, что в области низких мощностей перемешивания при одинаковом диаметре перемешивающих устройств, наиболее сильное влияние диаметра (объема) сосуда цилиндрической формы на высоту воронки характерно для насадки два конфузор-диффузора. При увеличении мощности перемешивания эта тенденция сохраняется, но становится менее выраженной по сравнению и иными типами насадок.

Следует отметить, что интенсивность работы перемешивающего устройства зависит от его размеров и связана с величиной симплекса геометрического подобия диаметра емкостного аппарата, причем целесообразнее использовать аппараты с меньшим симплексом, т.е. с относительно большим диаметром перемешивающего устройства [7,36]. Поэтому для выявления дополнительных преимуществ целесообразно для сравнительных испытаний использовать сосуд меньшего размера.

Таким образом, для более полной оценки возможностей в интенсификации процесса перемешивания необходимо использовать стеклянный сосуд диаметром 150 мм, как обеспечивающий более высокую интенсивность для всех типов роторных насадок с диаметром перемешивающего устройства $d=110$ мм.

4.2.3. Влияние частоты вращения насадок роторной мешалки на время растворения хлорида натрия

Для исследования влияния частоты вращения насадок на время растворения соли использовалась дистиллированная вода при температуре 20°C. Исследования проводились на установке, показанной на рис. 3.1. При этом на дно сосуда помещались кристаллы соли хлорида натрия в количестве необходимом для получения раствора концентрацией – 0,5% или 5%. Раствор перемешивался различными насадками ($d = 110$ мм) роторной мешалки в сосуде с внутренним диаметром $D=150$ мм. Измерялись следующие параметры: частота вращения мешалки и время полного растворения кристаллов соли NaCl.

По результатам экспериментов построены кривые, представленные на рис. 4.12 и рис. 4.13, отображающие зависимость времени полного растворения соли NaCl от частоты вращения для насадок всех типов.

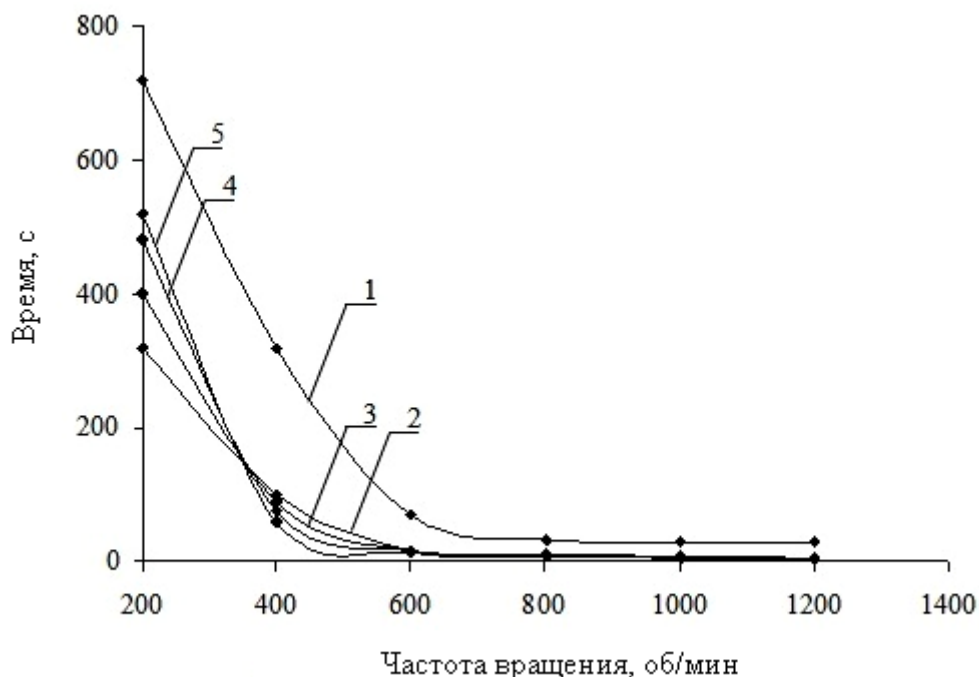


Рисунок 4.12 Зависимость времени получения 0,5% раствора NaCl от частоты вращения насадок роторной мешалки в сосуде диаметром $D = 150$ мм: 1- диск; 2- пропеллер; 3- две трубки переменного сечения; 4 – два конфузора; 5- два конфузур-диффузора

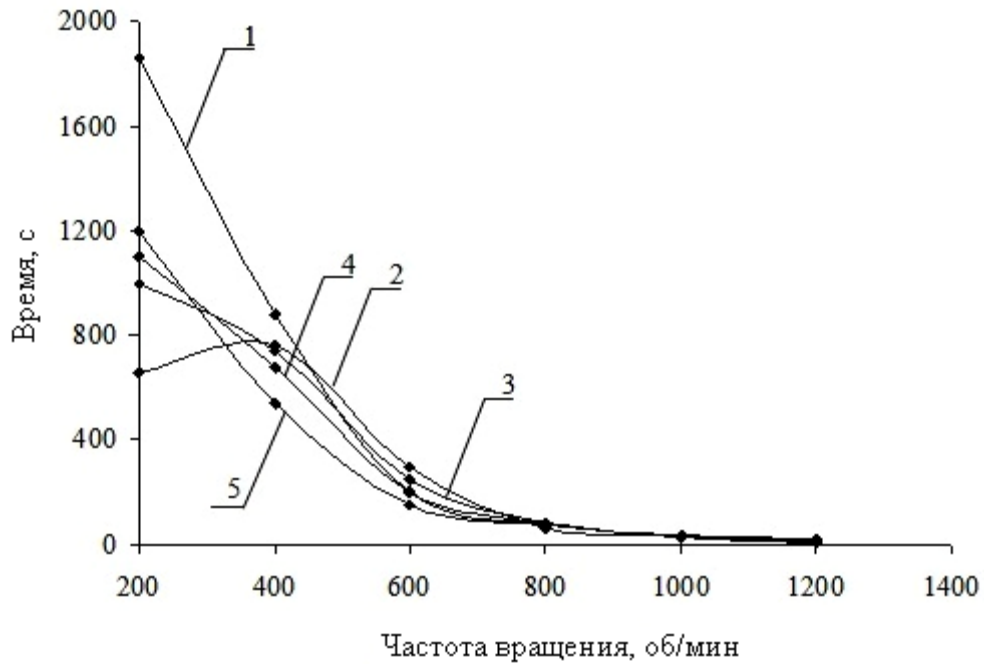


Рисунок 4.13 Зависимость времени получения 5% раствора NaCl от частоты вращения насадок роторной мешалки в сосуде диаметром $D = 150$ мм: 1- диск; 2- пропеллер; 3- две трубки переменного сечения; 4 – два конфузур; 5- два конфузур-диффузора

Повышенную интенсивность растворения кристаллов хлорида натрия при высокоскоростном воздействии насадок типа: две трубки переменного сечения, два конфузур и два конфузур-диффузора, можно объяснить более высокой степенью турбулентности, которую они создают по сравнению с дисковой и пропеллерной насадкой

При высокой турбулентности образуется большая разность относительных скоростей дисперсионной среды (раствора) и дисперсной фазы (соли NaCl), что способствует высокой скорости растворения твердых частиц соли.

Следует отметить, что более высокая скорость вертикального потока раствора, создаваемая пропеллерной насадкой при малых скоростях оборота ротора, способствует более высокой интенсивности растворения твердых частиц соли находящихся на дне сосуда.

Таким образом, при скорости вращения ротора более 300 об/мин насадка два конфузур-диффузора создает более высокую степень турбулизации раствора во всем объеме сосуда по сравнению с другими насадками роторной мешалки.

4.2.4. Влияние типа насадки на структуру растворов перманганата калия

Для исследования влияния различных типов насадок ($d = 110$ мм) роторной мешалки на структуру растворов перманганата калия в дистиллированной воде использовался электронный микроскоп «Микромед - 3». С этой целью на дно сосуда помещались кристаллы KMnO_4 в количестве необходимом для получения раствора 0,5% концентрации.

Пробы для исследования на микроскопе отбирались из срединной части раствора, содержащегося в стеклянном сосуде $D=150$ мм, после перемешивания с использованием различных типов насадок в течение 100 секунд при числе оборотов ротора 600 об/мин. Структура растворов перманганата калия в дистиллированной воде при увеличении 100 крат, полученных с использованием разных насадок, представлены на микрофотографиях рис. 4.14.

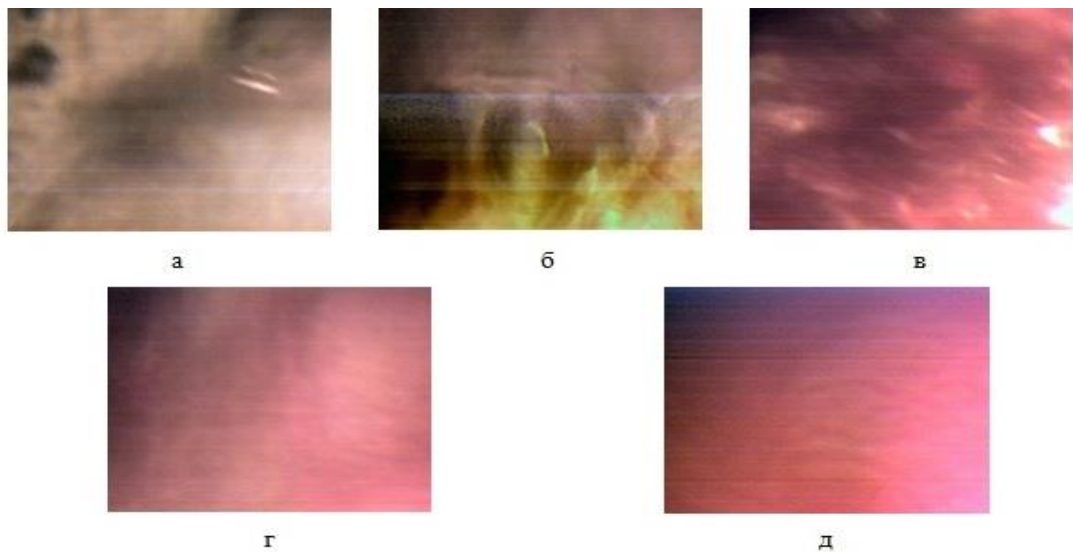


Рисунок 4.14 Микрофотографии структур раствора KMnO_4 в воде после 100 с перемешивания роторной мешалкой с частотой 600 об/мин насадками: а – диск; б – пропеллер; в – две трубки переменного сечения; г – два конфузора; д – два конфузора – диффузора

Перманганат калия малорастворим в воде, но его ион MnO_4^- окрашен в легко визуально различимый красно-фиолетовый цвет.

Следовательно, чем более интенсивное гидродинамическое воздействие в процессе перемешивания происходит на кристаллы перманганата калия, тем более насыщенную красно-фиолетовую окраску приобретает исследуемый раствор.

Таким образом, насадка два конфузор-диффузора в процессе перемешивания создает более интенсивные гидродинамические воздействия по сравнению с иными исследованными типами роторных насадок.

Визуальный анализ образцов микроструктур растворов, изображенных на рис. 4.14, полученных разными насадками, показывает, что насадка два конфузор-диффузора наиболее эффективна в создании структурно-однородных водных растворов.

4.2.5. Влияние времени перемешивания на температуру водопроводной воды при различных частотах вращения насадок роторной мешалки

Для исследования влияния времени перемешивания на изменение температуры воды в процессе перемешивания насадками на установке, показанной на рис 3.1, использовалась водопроводная вода. Процесс перемешивания производился насадками роторной мешалки в сосуде с внутренним диаметром $D=150$ мм, при фиксированной частоте перемешивания (400, 800, 1200 об/мин) во временном диапазоне от 5 до 35 минут, температура измерялась в срединной части сосуда.

По результатам экспериментов построены кривые, представленные на рис. 4.15 - 4.17, отображающие зависимость изменения температуры воды от времени перемешивания при фиксированной частоте вращения для насадок 5 типов.

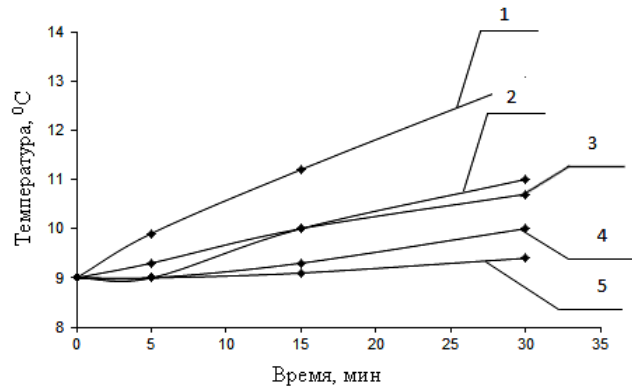


Рисунок 4.15 Зависимость температуры воды от времени перемешивания при частоте вращения 400 об/мин для разных типов насадок: 1- два конфузор-диффузора; 2- две трубки переменного сечения; 3- два конфузора; 4- пропеллер; 5- диск

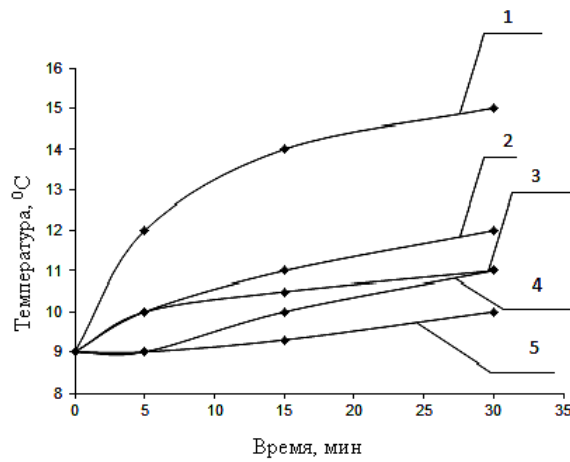


Рисунок 4.16 Зависимость температуры воды от времени перемешивания при частоте вращения 800 об/мин для разных типов насадок: 1- два конфузор-диффузора; 2- две трубки переменного сечения; 3- два конфузора; 4- пропеллер; 5- диск

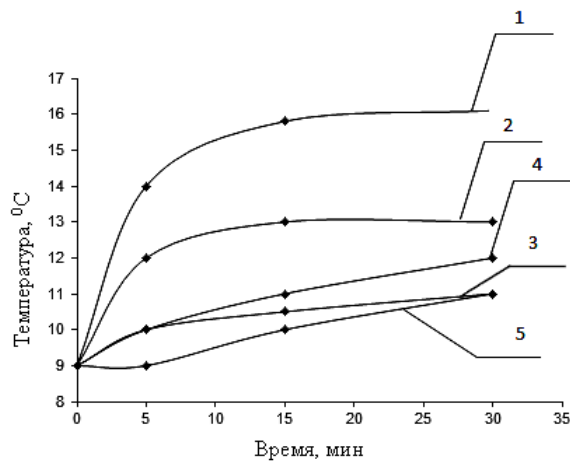


Рисунок 4.17 Зависимость температуры воды от времени перемешивания при частоте вращения 1200 об/мин для разных типов насадок: 1- два конфузор-диффузора; 2- две трубки переменного сечения; 3- два конфузора; 4- пропеллер; 5- диск

Важно отметить, характерное отличие кривых изменения температуры воды при перемешивании насадкой два конфузор-диффузора по сравнению с другими насадками при высоких оборотах ротора. Это связано с тем, что наряду с диссипацией энергии при взаимодействии молекул воды между собой и с поверхностями подвижных и неподвижных элементов перемешивающего устройства (имеющих место для всех исследованных конструкций), для этой насадки наблюдается: более высокая степень турбулентности в условиях перемешивания и дополнительный большой вклад в диссипацию вызван кавитационными явлениями.

4.3. Результаты сравнительных испытаний насадок роторной мешалки

Сравнительные оценки перемешивающей эффективности насадок в рамках стандартных методик показали:

1. Установлено, что насадка два конфузор-диффузора начиная с 200 об/мин работает в турбулентном режиме. При увеличении частоты вращения расход энергии, затрачиваемый на перемешивание уменьшается, поэтому насадку два конфузор-диффузора наиболее эффективно использовать при частоте вращения более 350 об/мин.

2. Оценка процесса перемешивания, проводимая по высоте воронки жидкости в сосуде в зависимости от потребляемой при этом мощности, показывает, что наибольшую интенсивность перемешивания обеспечивают насадки типа: две трубки переменного сечения, два конфузора и два конфузор-диффузора.

3. Насадка два конфузор-диффузора затрачивает меньшую мощность для получения необходимых гидродинамических условий перемешивания, кроме того высота воронки косвенно определяет характер и величину турбулентных пульсаций.

4. При увеличении объема перемешиваемой жидкости насадка два конфузор-диффузора обеспечивает более интенсивное перемешивающее воздействие по сравнению с роторными насадками других типов.

5. Оценка интенсивности перемешивания по скорости растворения кристаллов хлорида натрия показывает, что начиная с области средних частот вращения ротора (более 350 об/мин) насадка два конфузор-диффузора создает наиболее турбулентные гидродинамические режимы во всем перемешиваемом объеме по сравнению с иными типами роторных насадок.

6. Оценка интенсивности перемешивания по особенностям окраски структур раствора KMnO_4 показывает, что гидродинамические воздействия, создаваемые насадкой два конфузор-диффузора, позволяют получить наиболее структурно-однородные водные растворы.

7. Характер возрастания температуры воды при увеличении скорости вращения ротора показывает, что насадка два конфузор-диффузора создает дополнительный значимый вклад в процесс перемешивания за счет возрастания роли кавитационных явлений.

8. Для дальнейших экспериментов по созданию агрегативно-устойчивых водных суспензий и эмульсий из насадок переменного сечения следует использовать насадки два конфузора и два конфузор-диффузора. Т.к. насадка две трубки переменного сечения с конфузор-диффузорной областью близка по конструкции к насадке два конфузор-диффузора, но имеет большее гидродинамическое сопротивление, и показывает худшие результаты в сравнении с насадками два конфузора и два конфузор-диффузора.

ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНЫХ СТРУКТУР И СТАБИЛИЗАЦИЯ АГРЕГАТИВНО-НЕУСТОЙЧИВЫХ ВОДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Исследования, направленные на создание строительных материалов с новыми структурно-физическими свойствами, имеют приоритетное научное и практическое значение. В конечном итоге в значительной мере именно структурно-физические свойства определяют потребительские качества промышленных товаров и нередко эффективность технологических процессов при их изготовлении.

Промышленные товары строительной отрасли, выпускаемые в виде водных композиций или производящиеся с их использованием, имеют наиболее широкое распространение по сравнению с иными типами лиофильных или лиофобных жидких композиций [65].

Следовательно, разработка способов получения водных композиций требуемого структурно-физического состояния, и изучение особенностей их модификации открывают перспективы совершенствования многих технологических процессов и создания широко востребованных материалов.

При макроскопическом рассмотрении объемных свойств многие водные композиции в виде растворов, эмульсий и суспензий можно при определенных условиях рассматривать как изотропные [102,103]. Однако более детальный анализ таких композиций показывает, что все они существуют в виде сложных по строению стабильных или метастабильных надмолекулярных образований. В подавляющем большинстве случаев эти надмолекулярные образования имеют разные размеры, т.е. характеризуются полидисперсностью, а также различаются по составу и геометрическим формам, т.е. обладают полиморфностью [102,103].

Следовательно, макроскопическая изотропность - достаточно грубая усредненная характеристика любой беспорядочно перемешанной полидисперсной и полиморфной водной композиции. Более того при переходе к

микроскопическому рассмотрению этих композиций выясняется, что даже входящие в них молекулы, являющиеся самыми малыми устойчивыми объектами композиций, также имеют значительные различия в строении, геометрических размерах и электрических свойствах.

Таким образом, множественность структурно-физических состояний водных композиций является следствием различий [102,103]:

- агрегатного состояния дисперсионной среды и дисперсной фазы;
- составов молекул компонентов дисперсной фазы, созданных в виде надмолекулярных образований;
- полиморфности надмолекулярных образований;
- полидисперсности надмолекулярных образований;
- структурных состояний дисперсионной среды;
- особенностей физико-химических взаимодействий между компонентами дисперсионной среды и дисперсной фазы;
- долевых соотношений в композиции между дисперсионной средой и дисперсной фазой.

5.1. Внутримолекулярные и межмолекулярные взаимодействия в компонентах водных систем, как основа их классификации

Известно [104-107], что водные композиции в зависимости от агрегатного состояния дисперсионной среды и дисперсной фазы имеют классификацию, представленную в таблице 5.1.

Газовые аэрозоли и твердые эмульсии, имеют ограниченное промышленное использование и не являются объектами данных исследований. Исследования сосредоточены на водных композициях, в которых основным компонентом дисперсионной среды является вода.

Типовая классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию фаз [13]

| Водные композиции | | |
|---------------------|-----------------|--------------------------|
| Дисперсионная среда | Дисперсная фаза | Тип структуры |
| Твердая | Жидкая | Капиллярные системы |
| Жидкая | Твердая | Суспензии и золи |
| Жидкая | Жидкая | Эмульсии |
| Жидкая | Газообразная | Газовые эмульсии и пены |
| Газообразная | Жидкая | Аэрозоли: туманы, облака |

Жидкие или твердые компоненты водных композиций стабильны по причине наличия между атомами, содержащимися в них, устойчивых химических связей, в основе которых лежат электромагнитные взаимодействия между разноименно заряженными атомами. Химические связи устойчивы только тогда, когда энергия химического соединения меньше энергии составляющих его атомов, которая уменьшается за счет обобществления электронов принадлежащих разным атомам. Существует три вида обобществления электронов, которым отвечают три типа сильных химических связей: ковалентная, ионная и металлическая [33,106].

Для ковалентной межатомной связи плотность энергии обобществленных электронов в основном концентрируется симметричным образом вдоль направления между двумя взаимодействующими атомами. Металлическая связь характеризуется тем, что плотность электронной энергии распространена более равномерно и охватывает большое число атомов. Ионная связь реализуется путем обобществления электронов атомов, при котором происходит частичное смещение электронной плотности от одних типов атомов к другим, что приводит к поляризации молекул.

Кроме сильных химических связей существуют два типа слабых физических связей, при которых обобществления электронов не происходит: межмолекулярная и ван-дер-ваальсовая [33,106]. В том случае, когда внешние электронные оболочки атомов заполнены, при их сближении нет возможности обобществления электронов, и поэтому межатомное сильное кулоновское взаимодействие в этом случае отсутствует. Однако при флуктуационных возмущениях электронных оболочек атомов происходит их частичная поляризация и возникает слабое диполь-дипольное взаимодействие носящее название ван-дер-ваальсового взаимодействия.

Важно отметить, что слабые и сильные ковалентные и ионные связи, в процессах гидромеханических воздействий могут быть разрушены. При этом разрыв связей ионного и ковалентного типа образуют соответственно ионы и радикалы, которые легко вступают в физико-химические взаимодействия [33,106].

Ионные соединения создают условия для образования надмолекулярных структур путем взаимодействия участков молекул с разной полярностью зарядов. Межмолекулярное диполь-дипольное взаимодействие одинаковых или разных по строению молекул существенно слабее взаимодействия трех типов сильных химических связей [33,106].

Известно [34], что молекула воды полярная, и она легко вступает в диполь-дипольное взаимодействие, приводящие к образованию надмолекулярных структур с другими полярными молекулами. При этом вначале считали, что атомы водорода воды образуют электростатические связи с анионами других молекул только по причине более высокого потенциала ионизации по сравнению с потенциалами ионизации других атомов [33,34,106,108]. Так как большой потенциал ионизации атома водорода невозможно компенсировать взаимодействиями внутри молекулы воды, то он может иметь более слабую связь с анионами других молекул. Такая связь получила название водородной связи [33,34,106,108].

Специфической особенностью иона водорода является отсутствие внутренней электронной оболочки и чрезвычайно малые размеры $\approx 10^{-15}$ м по

сравнению с иными катионами, размеры которых порядка 10^{-10} м. Малые размеры иона водорода создают вблизи него настолько сильное электрическое поле, что он притягивает к себе любые полярные молекулы [108,109]. При этом поле катиона водорода не может быть полностью компенсировано переносом заряда на анион любого иного атома, и поэтому он может одновременно взаимодействовать и с другими анионами. Однако малые размеры иона водорода не позволяют близко подойти к нему одновременно нескольким анионам из-за возникающего кулоновского отталкивания между этими анионами, и в этом заключается одно из специфических отличий водородной связи от ионной связи [108].

В исследованиях особенностей водородной связи в воде было выяснено [108,109], что она имеет сложную природу, и наряду с электростатическими взаимодействиями важную роль в ней играет донорно-акцепторный механизм связи между ионом водорода и электронами аниона кислорода другой молекулы. По этой причине водородная связь в воде сильнее дипольной межмолекулярной связи и тем более ван-дер-ваальсовой связи. Водородная связь по силе взаимодействия занимает промежуточное значение между сильной связью и межмолекулярной связью.

Поэтому согласно соотношению сил взаимодействия по сравнению со значением силы водородной связи, в исходных водных системах могут быть разрушены компоненты, обладающие межмолекулярными связями, а компоненты, обладающие сильными связями, образуют с водой гетерофазную или гомофазную композицию. Следовательно, структурная модификация многокомпонентных исходных водных систем может состоять в разрушении (растворении) в воде или водных растворах компонентов с межмолекулярными связями и образовании гомогенных или гетерогенных композиций с компонентами, обладающими сильными химическими связями. Фактором, влияющим на устойчивость композиций, является рН. С учетом этого предложена дополнительная классификация агрегатных состояний водных композиций. Важно отметить, что в рамках классификации, представленной в таблице 5.2,

каждая из подсистем может характеризоваться дополнительным подмножеством своих структурно-физических состояний.

Таблица 5.2

Классификация агрегатных состояний водных композиций

| Общая классификация структур водных композиций | | | |
|--|------------------------|---|---|
| Структуры водных дисперсионных сред | | Структуры активированных дисперсных фаз | |
| Дисперсионные среды | Типы структур | Дисперсные фазы | Агрегативно устойчивые или неустойчивые |
| Водная среда | Изотропная | Гомогенные: | |
| | Ассоциаты воды | • однокомпонентные; | Эмульсия |
| Активированная вода | Ассоциаты воды | • многокомпонентные | Эмульсия |
| | Ионные ассоциаты | водные или растворные. | |
| | | Гетерогенные: | |
| Раствор однокомпонентный | Ассоциаты воды | • однокомпонентные; | Пена |
| | Молекулярные ассоциаты | | Эмульсия |
| | Ионные ассоциаты | | Золь |
| | | | Суспензия |
| Раствор многокомпонентный | Ассоциаты воды | • многокомпонентные | Пена |
| | Молекулярные ассоциаты | водные или растворные. | Эмульсия |
| | Ионные ассоциаты | | Золь |
| | | | Суспензия |

Таким образом, общая классификация структурно-физического состояния водных дисперсных композиций на основе свойств водородной связи включает подсистемы, представленные в таблице 5.2, в которой указаны возможные типы структур, определяющие лишь основные структурные свойства, характеризующие композиции.

Известно [110], что в самой простой из подсистем: водной среде, состоящей только из молекул воды, при температурах ниже 10°C образуются устойчивые водные ассоциаты, т.е. структурно-физическое состояние воды отличается от изотропного состояния, которое она имеет при комнатных температурах. Причем при разных температурах структурное состояние воды, включающей ассоциаты, будет различным. Это проявляется в значениях таких характеристик воды как вязкость, плотность, теплоемкость и т.д.

Однокомпонентные или многокомпонентные водные композиции могут образовывать в водной фазе как устойчивые, так и неустойчивые гетерогенные суспензии или гомогенные эмульсии различной морфологии и разного дисперсного состава. При этом они могут дополнительно классифицироваться по ряду потребительских свойств: магнитные, оптические, магнито-оптические, отделочные строительные, технологические для обработки металлов и т.д.

На получающиеся в результате смешивания характеристики структур дисперсных композиций оказывают влияние структурно-физические состояния дисперсионной среды, образующиеся в процессе смешивания. Поэтому представляет интерес исследование закономерностей структурообразования, к которым приводит процесс смешивания, в результате которого происходят модификации исходного структурно-физического состояния, как дисперсионных сред, так и дисперсных композиций.

Гомогенные или гетерогенные однокомпонентные водные композиции, т.е. содержащие молекулы одного типа отличные от молекул воды, наиболее удобны для изучения закономерностей явлений вызываемых взаимодействиями с водой и особенностей влияния этих явлений на модификацию структурно-физического состояния исходной композиции в процессах смешивания.

5.2. Механоактивация дистиллированной воды различными насадками роторной мешалки

Вода является аномально устойчивым химическим соединением в классе похожих по строению химических соединений: H_2S , H_2Se , H_2Te , NH_3 , CH_4 . Попытки разрушения молекулы воды в результате фотодиссоционных воздействий показали, что она обладает самым низким квантовым выходом реакции диссоциации [34]. Это объясняется тем, что в ответ на возбуждение молекула воды способна легко изменить одно устойчивое конформационное состояние на другое.

Вода в отличие от большинства других жидких химических веществ обладает комплексом аномальных физико-химических свойств [34]. Объяснить наличие этих аномалий на основании природы атомов, определяющих строение молекулы воды, не представляется возможным. Поэтому предпринимались попытки экспериментальных [111] и численных исследований [112] направленных на установление связи надмолекулярных строений водных ассоциатов, существующих при разных температурах в жидкой воде, с её аномальными свойствами.

Проведенные исследования по воздействию роторных насадок на молекулы воды преследуют цель установления закономерностей образования ассоциатов в виде ионов гидроксония и гидроксид-ионов, сольватированных гидратными оболочками в зависимости от интенсивности перемешивания воды роторной мешалкой и типа используемой при этом насадки.

Ионы, образовавшиеся в результате механоактивации, в отличие от молекул воды легко вступают в физико-химические взаимодействия с компонентами композиций, что может способствовать совершенствованию технологических процессов с их участием и получению изделий с требуемыми потребительскими свойствами.

5.2.1. Механохимические особенности процесса активации воды

Характерной особенностью активации дистиллированной воды насадками разных конструкций является наличие после определенного времени перемешивания разных предельных значений рН. В работе [113] исследовано влияние скорости вращения насадки типа конфузور-диффузор на изменение предельных значений рН дистиллированной воды и было установлено, что начиная с некоторого значения числа оборотов ротора, замедляется скорость роста концентрации ионов гидроксония и гидроксид-ионов.

Было показано, что существуют два характерных режима механоактивации дистиллированной воды. Низкоскоростной режим механоактивации, в котором в основном происходит образование ионов и их стабилизация в перемешиваемой воде за счет образования гидратных оболочек. Высокоскоростной режим механоактивации, когда наряду с образованием ионов происходит разрушение гидратных оболочек ионов воды и активизируется обратная механохимическая реакция нейтрализации ионов с образованием молекул воды.

Поэтому представляет интерес исследование образования ионов гидроксония и гидроксид-ионов в дистиллированной воде при разной интенсивности перемешивания в роторной мешалке с насадками разной конструкции.

В работе [114] рассмотрены особенности образования ассоциатов в виде ионов, сольватированных гидратными оболочками, при разной интенсивности перемешивания дистиллированной воды тремя типами насадок роторной мешалки.

На рис. 5.1 показаны кривые изменения предельных значений рН в роторной мешалке, создаваемых разными насадками при частоте вращения ротора в интервале 200 – 1400 об/мин. [113].

При этом уровень интенсивности воздействия на молекулы воды можно оценить по диссипации энергии в процессе перемешивания, показанной на рис.5.2 и рис. 5.3.

Эксперименты по изменению температуры воды от частоты вращения мешалки были ограничены 30 мин., т.к. при дальнейшем увеличении времени перемешивания температура воды и концентрация ионов гидроксония не увеличивается и выходит на стабильное значение.

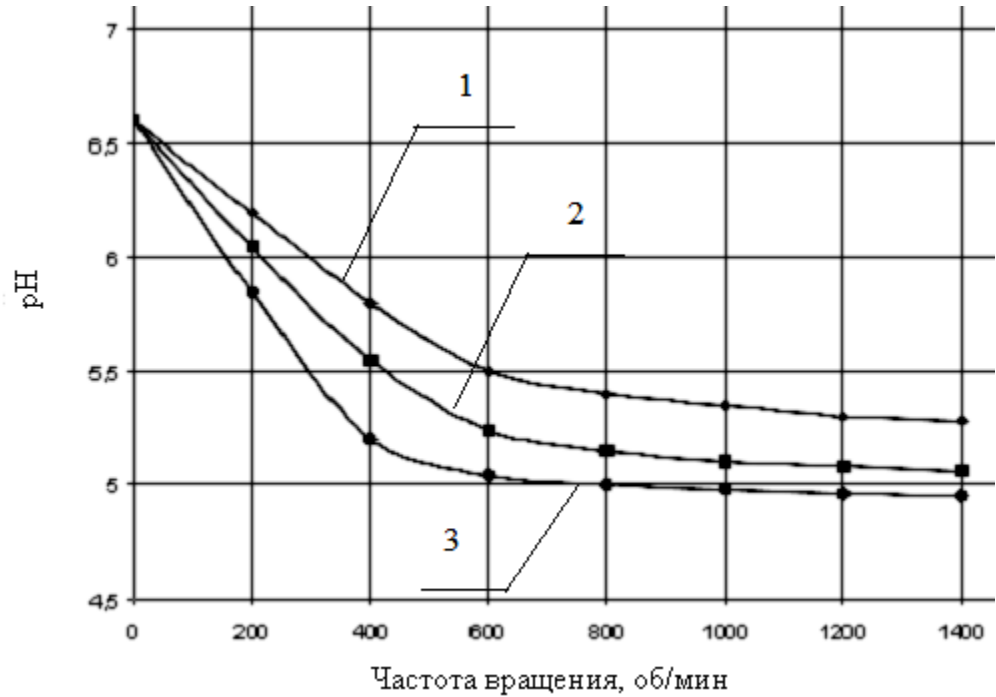


Рисунок 5.1 Зависимость изменения pH воды от частоты вращения насадок роторной мешалки: 1- пропеллер; 2- конфузоры; 3- конфузор-диффузоры

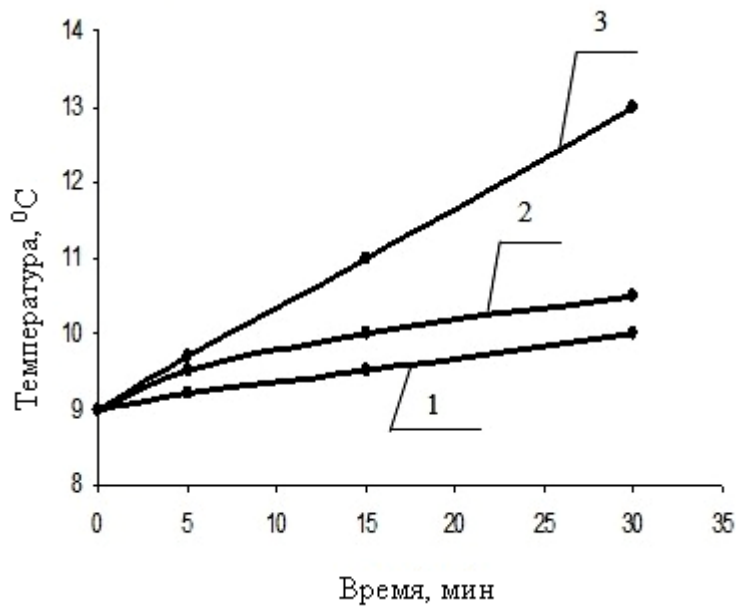


Рисунок 5.2 Изменения температуры воды при вращении роторной мешалки с различными насадками при частоте вращения 400 об/мин: 1-пропеллер; 2-конфузоры; 3-конфузор-диффузоры

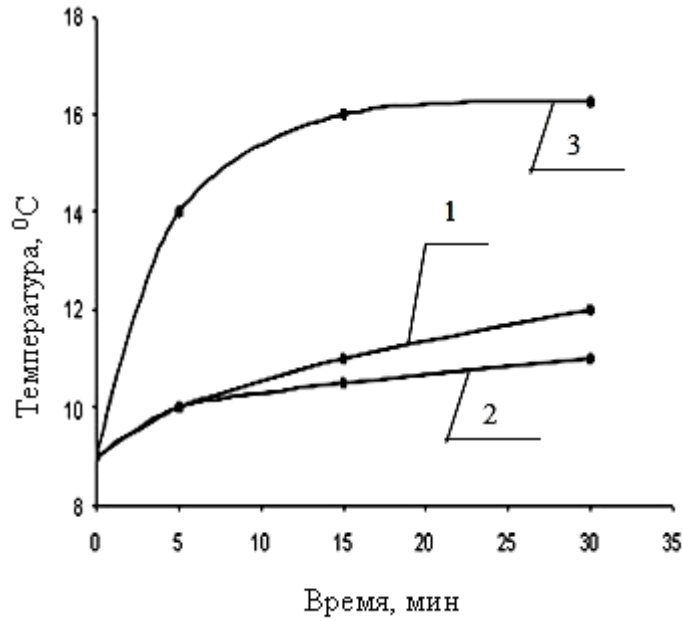
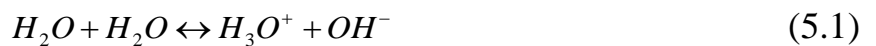


Рисунок 5.3 Изменения температуры воды при вращении роторной мешалки с различными насадками при частоте вращения 1200 об/мин: 1-пропеллер; 2-конфузоры; 3-конфузор-диффузоры

Механизм реакции механоактивации может протекать в одну или две стадии следующим образом [107,115]:

- образование активированного комплекса с распадом на два иона:



- разрыв связей в молекуле воды:



Причем в результате спектроскопических измерений было установлено [107], что реакция образования иона гидроксония сопровождается выделением 1300 кДж/моль тепловой энергии, что исключает возможность существования изолированных ионов водорода в воде.

Процесс механоактивации, протекающий в одну стадию через образование активированного комплекса, преимущественно может происходить в результате низкоинтенсивных перемешивающих воздействий.

Важно отметить, что ионы гидроксония H_3O^+ и гидроксид-ионы OH^- индуцируют сильные электрические поля [107,116] и по этой причине при образовании мгновенно сольватируются (гидратируются) и существуют в виде ассоциатов с несколькими оболочками полярных молекул воды.

При высокоинтенсивных процессах перемешивания наряду с распадом по механизму (5.1) возможна реализация процесса по механизму (5.2), (5.3). Однако в условиях интенсивного перемешивания часть сольватных оболочек неизбежно полностью разрушается, и наряду с прямой эндотермической реакцией начинает протекать обратная экзотермическая реакция образования из гидроксид-иона и иона гидроксония двух молекул воды:



Анализ кривых изменения рН рис. 5.1 и температуры активируемой воды рис. 5.2 и рис. 5.3 показывают, что при частотах вращения ротора мешалок меньших 400 об/мин в основном реализуется механизм механоактивации по схеме (5.1), о чем свидетельствует корреляция кривых изменения температуры перемешиваемой воды и её рН. При более высоких числах оборотов эта корреляция нарушается и наряду с механизмом активации по схеме (5.1) включается механизм, основанный на реакциях (5.2), (5.3) и (5.4).

Изменения рН при увеличении частоты вращения ротора, рис. 5.1, показывают, что для всех типов насадок наблюдается три характерных режима генерирования ионов воды: низкоскоростной, переходный и высокоскоростной. Переходный режим наблюдается в относительно узком интервале частот вращения ротора. При этом в области низкой и высокой частоты вращения изменения рН хорошо аппроксимируются прямыми, имеющими разный угол наклона к оси частот вращения.

В низкоскоростной области с увеличением частоты вращения ротора наблюдается значительный рост скорости образования этих ионов, характеризуемый большим значением тангенса угла наклона прямой к оси частот вращения ротора, аппроксимирующей значения рН по методу наименьших квадратов. В высокоскоростной области аналогичным образом проведенная

прямая показывает тенденцию к значительному падению роста скорости образования ионов гидроксония и гидроксид-ионов при увеличении частоты вращения ротора.

Следовательно, при высокоинтенсивном перемешивании наряду с диссипацией энергии вызванной межмолекулярным трением и взаимодействием молекул воды с движущимися поверхностями насадок и стенками смесительного аппарата происходит выделение тепла в экзотермической обратной реакции нейтрализации ионов. Причем энергия активации обратной реакции меньше энергии активации образования ионов и поэтому, только наличие сольватирующих оболочек ионов, блокирующих возможность течения обратной реакции по их нейтрализации, позволяет увеличивать их концентрацию при увеличении частоты вращения ротора. При частоте его вращения превышающей эффективную частоту активации ω_3 для всех типов насадок роторной мешалки, но в разной мере, характерно значительное увеличение доли обратной экзотермической реакции, дающей вклад в повышение температуры перемешиваемой воды.

Количественно образование ионов в результате процессов активации в мешалках с частотой вращения ротора $200 < \omega \leq \omega_3$ об/мин для насадок разного типа можно представить в виде следующего соотношения [114]:

$$N_H = 2N_A \exp(-2,3 \cdot (6,6 - K_{HA} \cdot \omega)), \quad (5.5)$$

а число активированных ионов при увеличении скорости вращения ротора свыше ω_3 можно записать в следующем виде [114]:

$$N_B = 2N_A \exp(-2,3 \cdot (6,6 - (K_{HA} - K_{BA}) \cdot \omega_3 - K_{BA} \cdot \omega)), \quad (5.6)$$

где $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – число Авогадро, а численный множитель в соотношениях (5.5) и (5.6) учитывает парность образующихся ионов воды.

Причем, количество ионов гидроксония связано с рН формулой [107]:

$$pH = \lg \frac{1}{[H_3O^+]} \quad (5.7)$$

Тогда:
$$pH = \lg \frac{1}{[H_3O^+]} = -\lg[H_3O^+] = -0,434 \ln[H_3O^+] \quad (5.8)$$

$$\ln[H_3O^+] = -\frac{1}{0,434} pH \quad (5.9)$$

$$[H_3O^+] = \exp(-2,3pH) \quad (5.10)$$

Изменения pH при низкоскоростной активации описываются соотношением:

$$pH = 6,6 - K_{HA} \cdot \omega, \quad (5.11)$$

а при высокоскоростной активации соотношением:

$$pH = 6,6 - K_{HA} \cdot \omega_{\text{Э}} - K_{BA} \cdot (\omega - \omega_{\text{Э}}), \quad (5.12)$$

где K_{HA} и K_{BA} – характеризуются тангенсом угла наклона к оси частот вращения прямой, аппроксимирующей значения pH.

Значения коэффициентов эффективности низкоскоростной K_{HA} и высокоскоростной K_{BA} активации для трех типов насадок, а также эффективные частоты активации $\omega_{\text{Э}}$ (при фиксированном радиусе расположения оси насадок), при которых происходит переход из низкоскоростного в высокоскоростной режим активации, приведены в таблице 5.3 [114].

Таблица 5.3

Численные параметры уравнений образования ионов

| Тип насадки | эффективная частота активации $\omega_{\text{Э}}$, об/мин | K_{HA} при $\omega < \omega_{\text{Э}}$ об/мин | K_{BA} при $\omega > \omega_{\text{Э}}$ об/мин |
|-------------------|--|--|--|
| конфузор-диффузор | 450 | 0,00375 | 0,0001125 |
| конфузор | 510 | 0,00269 | 0,000225 |
| пропеллер | 545 | 0,002 | 0,000275 |

Следовательно, чем ниже число оборотов вращения ротора, при котором происходит переход из низкоскоростного режима активации, характеризующегося высокой скоростью образования ионов, в высокоскоростной режим с возрастающей скоростью нейтрализации ионов, тем выше активационная эффективность роторной насадки.

Количество ионов, образовавшихся за одинаковое время в результате механоактивации, для устройств разной конструкции при скорости перемешивания 400 об/мин и 1200 об/мин представлены в таблице 5.4 [114].

Таблица 5.4

Количество ионов в низкоскоростном и высокоскоростном режиме механоактивации

| Тип насадки | N_H (ионов/литр) при 400 об/мин | N_B (ионов/литр) при 1200 об/мин |
|-------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| конфузор-диффузор | $95,64 \cdot 10^{17}$ | $178,86 \cdot 10^{17}$ |
| конфузор | $36,03 \cdot 10^{17}$ | $101,81 \cdot 10^{17}$ |
| пропеллер | $19,08 \cdot 10^{17}$ | $56,33 \cdot 10^{17}$ |

Из данных таблиц 5.3 и 5.4 следует, что в процессе активации при низкоскоростных воздействиях наибольшей эффективностью обладает насадка типа конфузор-диффузор. Однако в условиях высокоскоростных воздействий её эффективность в процессе активации по сравнению с другими типами насадок снижается в большей мере.

При температуре выше 8°C ассоциаты не ионного типа в воде не устойчивы [34] и по этой причине не могут оказывать влияния на поведение более стабильных ассоциатов ионного типа, поэтому гибель ионов при перемешивании определяется исключительно устойчивостью их гидратных оболочек в процессе механоактивации.

Основным фактором, влияющим на уменьшение эффективности активации, вызванной гибелью части ионов при воздействии насадки типа конфузор-диффузор при высоких скоростях вращения ротора, является более жесткое гидродинамическое воздействие этой насадки на ассоциаты гидратных оболочек экранирующих ионы, что приводит к разрушению этих оболочек и запуску реакции нейтрализации ионов. Дополнительным фактором, негативно влияющим на эффективность образования ионов за счет снижения устойчивости ионных ассоциатов, является повышение температуры воды [107], как в силу диссипации

энергии в условиях более интенсивного перемешивания, так и за счет большего вклада по сравнению и иными типами насадок экзотермической реакции нейтрализации ионов.

Таким образом, эффективность процесса активации дистиллированной воды в роторной мешалке зависит от типа используемой насадки и требует оптимизации по частоте вращения ротора в интервале 400 – 600 об/мин. С учетом устойчивости молекулы воды к разрыву внутримолекулярных связей процесс активации дистиллированной воды можно применять как стандартное тестовое испытание для оценки активационной эффективности роторных насадок.

5.2.2. Стабильность ионов гидроксония и гидроксид-ионов в воде и однокомпонентных растворах

Для использования активированной воды в технологических процессах важно знать, что происходит с её ионами после окончания процесса механоактивации. С этой целью в работе [117] проведено исследование изменения рН в течение длительного промежутка времени водопроводной воды и однокомпонентных растворов 0,05% и 0,5% хлорида натрия в дистиллированной воде после активации этих систем насадкой типа конфузур-диффузор.

Вода и растворы подвергались активации мешалкой типа конфузур-диффузор. В процессе активации определяли стационарное значение рН для частоты вращения ротора, равной 600 об/мин. По окончании процесса активации измерялась рН растворов и воды. Активированные образцы помещались в закрытые стеклянные емкости и в течение 10 месяцев периодически производились замеры рН. Результаты измерений представлены в таблице 5.5.

Из данных таблицы 5.5 следует, что в течение четырех месяцев после активации рН изменяется незначительно, а затем скорость гибели ионов возрастает и по истечении 10 месяцев значение рН увеличивается в среднем на 15-25 % от её исходных значений.

Изменение pH воды и однокомпонентных растворов в процессе длительных
испытаний

| Дата измерения | 0,05% р-р NaCl | 0,5% р-р NaCl | Водопроводная вода |
|----------------|----------------|---------------|--------------------|
| 20.12 | 7,3 | 7,4 | 7,1 |
| 17.01 | 7,8 | 7,6 | 7,8 |
| 24.01 | 7,4 | 7,5 | 7,5 |
| 31.01 | 7,2 | 7,1 | 7,2 |
| 15.02 | 7,3 | 7,3 | 7,5 |
| 01.03 | 7,6 | 7,6 | 7,8 |
| 02.04 | 8,2 | 8,4 | 8,6 |
| 16.04 | 8,6 | 8,6 | 8,8 |
| 07.05 | 8,8 | 8,8 | 9,1 |
| 28.05 | 8,9 | 8,9 | 8,7 |
| 04.06 | 8,7 | 8,8 | 8,9 |
| 18.06 | 8,8 | 9 | 8,9 |
| 08.10 | 9,1 | 8,5 | 8,8 |

Ряд технологических процессов требует поддержания pH водных растворов на определенном уровне. С этой целью в технологические водные растворы или продукты для создания требуемых значений кислотности среды добавляют разные химические соединения. Для уменьшения их количества или в ряде случаев полного исключения из технологического процесса можно использовать механоактивированную воду или её растворы [118].

5.2.3. Термодинамические закономерности устойчивости ионов воды

С позиций термодинамики в результате активации воды на первый взгляд происходит аномальный процесс, так как вместо возрастания энтропии, например, вызванной разрушением первичных водных ассоциатов [119] происходит ещё большее структурирование воды, и, следовательно, уменьшение энтропии. Однако рассмотрим этот процесс более детально, так как результат активации воды связан с рядом разнонаправленных термодинамических явлений.

В процессе активации происходит распад молекул воды на два иона, что вызывает рост энтропии в системе. Затем ионы, обладающие большим электрическим зарядом, притягивают полярные молекулы воды, в результате чего энтропия системы уменьшается.

Рассмотрим термодинамические факторы, сопутствующие процессу активации воды.

Во-первых, при распаде молекулы воды на ионы происходит увеличение объема системы в силу того, что два иона занимают больший объем, чем одна молекула воды. При образовании ионных ассоциатов объем системы уменьшается, так как гидратированный ионный ассоциат занимает меньший объем, чем составляющие его молекулы. Следовательно, протекают два разнонаправленных процесса: увеличение объема, а значит и энтропии системы в процессе распада молекул воды и её уменьшение при образовании ионных ассоциатов.

Во-вторых, изменяется структурная энергия активируемой системы: вначале при распаде активированных комплексов воды, структурная энергия системы увеличивается, а затем в процессе гидратации уменьшается.

Термодинамика образования ионного ассоциата начинается с появления ионов, протекающего по механизму [107,113,115]:



Отметим, что относительно химической реакции рассматривается равновесное состояние, т.е. сродство химической реакции A равно нулю, и

поэтому приращение энтропии [120] обусловленное образованием из молекул воды ионов, также равно нулю:

$$\delta S_B = \frac{A \cdot \delta \xi}{T_B} = 0, \quad (5.14)$$

где $\delta \xi$ – изменение степени превращения воды в ионы, T_B – абсолютная температура воды. Иными словами рассматривается процесс структурирования воды, а не термодинамика образования ионов.

Пусть после образования положительно заряженного иона гидроксония H_3O^+ или отрицательно заряженного гидроксид-иона OH^- , обладающих высоким энергетическим потенциалом, система в силу обычных термодинамических причин начинает переходить в состояние с минимальной энергией за счет образования вокруг ионов гидратных оболочек. Избыточная часть тепловой энергии ассоциата δQ_A при этом передается в окружающую водную среду, имеющую температуру T_B . Поэтому энтропия водной среды возрастает на величину [120]:

$$\delta S_B = \frac{\delta Q_A}{T_B} \quad (5.15)$$

Следовательно, локально более высокая за счет более интенсивного трения молекул воды при образовании ионной структуры абсолютная температура внутри ассоциата T_A будет затем в процессе переноса тепла выравниваться с температурой окружающей его воды $T_A > T_B$. Причем по абсолютной величине поток тепла, образовавшийся в ассоциате, равен потоку тепла поглощенному окружающей ассоциат водой:

$$|-\delta Q_A| = |\delta Q_B| \quad (5.16)$$

Изменение энтропии подсистемы, включающей ионный ассоциат и молекулы окружающей его воды, при этом с учетом (5.16) равно [119]:

$$\delta S_{B,i} + \delta S_{A,i} = |\delta Q_{A,i}| \cdot \left(\frac{1}{T_{B,i}} - \frac{1}{T_{A,i}} \right) > 0 \quad (5.17)$$

И поэтому общая энтропия системы, состоящей из множества таких возможно дисперсных по размерам подсистем, в соответствии со вторым законом термодинамики возрастает:

$$\sum_i (\delta S_{B,i} + \delta S_{A,i}) \gg 0, \text{ где } i = 1, 2, 3 \dots n \quad (5.18)$$

Таким образом, в результате активации воды разнонаправленные термодинамические явления в условиях сохранения массы системы приводят к повышению её энтропии и существованию устойчивых ионных ассоциатов. Для возврата образовавшейся структурированной системы в исходное состояние теперь необходимо воздействовать на неё дополнительной механической или тепловой энергией, которая способна разрушить ассоциаты, чтобы в результате реакции нейтрализации ионов получить молекулы воды.

5.3. Стабилизация агрегативно-неустойчивых дисперсных гомогенных композиций

Смешивание жидких сред с целью получения эмульсий широко применяется в различных отраслях промышленности: строительной, химической, пищевой, целлюлозно-бумажной и т.д. [2,3,5]. В строительном производстве при изготовлении железобетонных изделий эмульсии применяются для изолирования бетона от материалов формы, а также при производстве минеральной, стеклянной ваты и теплоизоляционных изделий (масляные эмульсии на водной основе для обеспыливания при производстве материала), для гидрофобизации строительных поверхностей [121-123].

Наиболее распространенными аппаратами при смешивании жидких и пастообразных сред являются мешалки роторного типа. Выбор смешивающей насадки является сложной многопараметрической задачей. Технологические приемы, применяемые при смешивании, а также конструкции смесительных аппаратов определяются в первую очередь уровнем вязкости смешиваемых компонентов, а, следовательно, и необходимой величиной вращающего момента и

частотой вращения рабочего узла смесителя [2,3,124]. Часто выбор смешивающего устройства основан на инженерном опыте с учетом соответствия конструктивных особенностей мешалок физико-механическим свойствам смешиваемой среды, либо после проведения длительных экспериментальных исследований [125,126].

Однако, несмотря на широкое использование водных эмульсий и несомненную важность изучения явлений деформации, разрушения и стабилизации капель дисперсной среды в процессах водного смешивания эти проблемы остаются к настоящему времени недостаточно разработанными как в теоретическом, так и в экспериментальном аспекте. При этом структура гомогенных дисперсных композиций оказывает значительное влияние на их макрореологические свойства, а химический состав и дисперсность на потребительские качества эмульсий.

5.3.1. Влияние конструкции насадок роторной мешалки на стабильность механоактивированных масляных эмульсий

Экспериментальные исследования влияния типа насадки роторной мешалки и режимов смешивания в системе «жидкость-жидкость» проведены с использованием двух взаимно не растворимых жидкостей [127]. В качестве эталонных жидкостей были выбраны вода (водопроводная) и масло растительное («Славная традиция» ОАО Кубаньхлебопродукт, ГОСТ Р 52465-2005, 1 сорт) в соотношениях масла 40% и воды 60%. Исследования проведены на экспериментальной установке, рис. 3.1, описанной в главе 3. Диапазон частоты вращения мешалки варьировался от 200 до 1200 об/мин с шагом 200 об/мин, время перемешивания - от 5 до 30 мин.

Качество получаемой в результате смешивания эмульсии и размер дисперсных частиц оценивались с помощью электронного микроскопа «Микромед-3». Основными характеристиками эмульсий являются: дисперсность, устойчивость во времени и концентрация дисперсной фазы [13,128]. В

экспериментах определялась зависимость изменения коэффициента устойчивости по времени.

Для количественной оценки процесса полного расслаивания был введен коэффициент устойчивости эмульсии, который определялся как отношение содержания не расслоившейся эмульсии после отстаивания $V_{п.о.}$ к общему содержанию эмульсии до начала отстаивания $V_{д.о.}$ пробы:

$$K = \frac{V_{п.о.}}{V_{д.о.}} \quad (5.19)$$

Оценка эффективности смешивания проводилась для пяти типов насадок: диск ($d_M = 110$ мм), пропеллер трехлопастной ($d_M = 110$ мм), два конфузора ($d_M = 110$ мм, $d_{вх}/d_{вых} = 25/12$, мм) и конфузур-диффузоры ($d_M = 110$ мм, $d_{вх,к} (d_{вых,д}) / d_{вых,к} (d_{вых,д}) = 23/11$, мм) в разных исполнениях, рис.5.4.

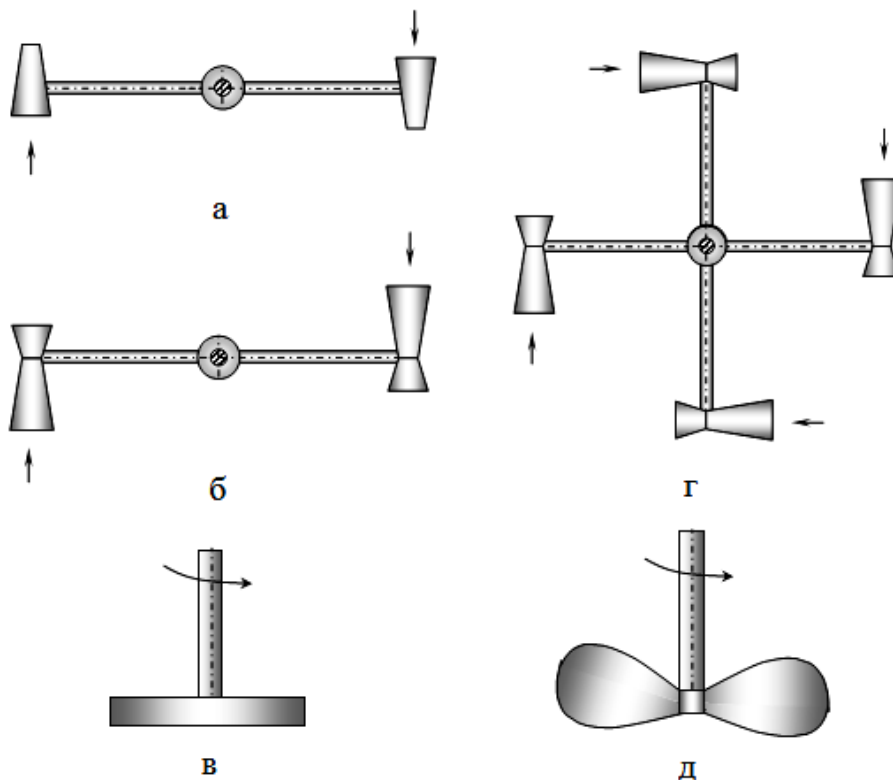


Рисунок 5.4 Насадки роторной мешалки: а - два конфузора; б - два конфузур-диффузора; в - диск; г - четыре конфузур-диффузора; д - пропеллер

Зависимости коэффициента устойчивости эмульсии вода-масло от времени смешивания и частоты вращения разного типа роторных насадок приведены на рис. 5.5, 5.6.

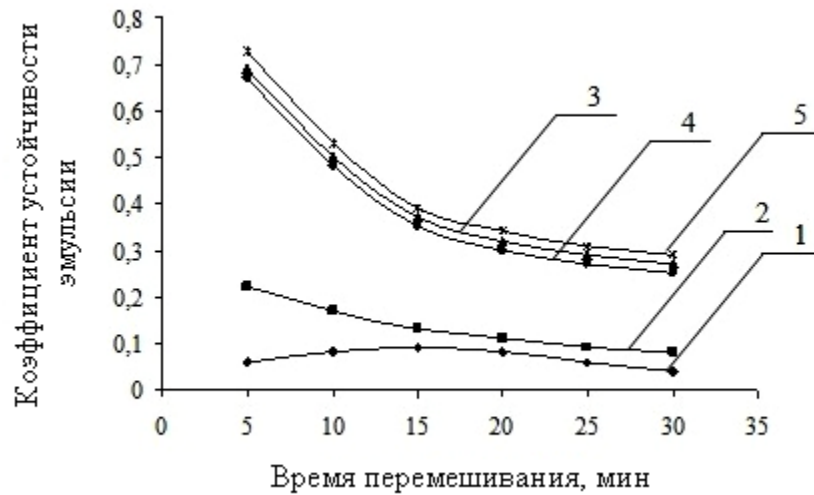


Рисунок 5.5 Зависимость коэффициента устойчивости эмульсии от времени перемешивания для насадок роторной мешалки: 1 – диск; 2 – пропеллер; 3 – два конфузур – диффузора; 4 – два конфузур; 5 – четыре конфузур – диффузора

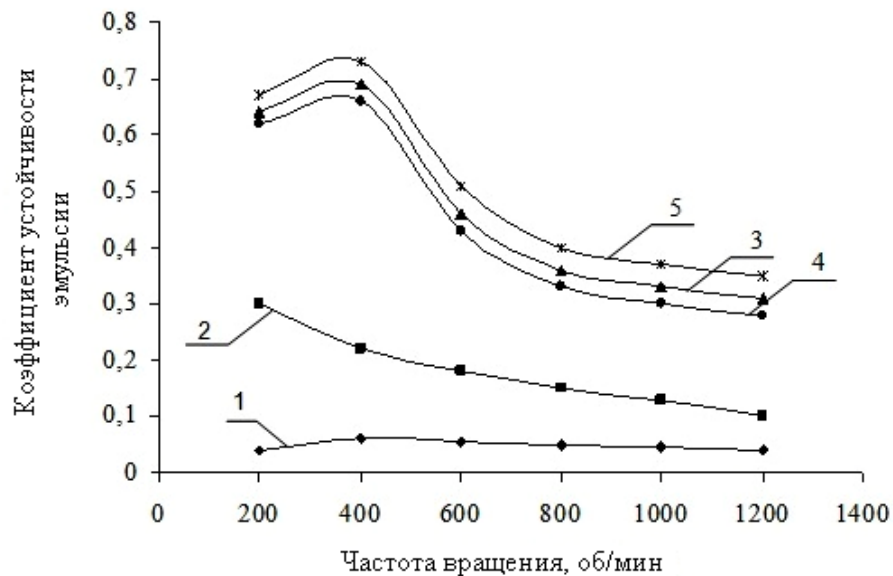


Рисунок 5.6 Зависимость коэффициента устойчивости эмульсии от частоты вращения насадок роторной мешалки: 1 – диск; 2 – пропеллер; 3 – два конфузур – диффузора; 4 – два конфузур; 5 – четыре конфузур – диффузора

Как видно на этих графиках максимальная эффективность смешивания достигается применением роторной мешалки с четырьмя конфузур-диффузорами. Оптимальное время смешивания композиции 5 мин, оптимальная частота вращения – 400 об/мин. Причем эффективность в получении агрегативно-

устойчивой композиции насадкой с четырьмя конфузур-диффузорами по сравнению с дисковой насадкой в 14 раз выше, а по сравнению с пропеллерной насадкой выше в 3.5 раза.

При увеличении времени и скорости вращения насадок выше оптимальных значений происходит уменьшение коэффициента устойчивости эмульсии для всех типов насадок. В результате изучения проб композиций с использованием микроскопа установлено, что это явление связано с образованием в процессе смешивания большего числа масляных капель и уменьшении размеров этих капель.

Обычно при использовании достаточного количества эмульгаторов тонкодисперсная эмульсия более устойчива. Образованная эмульгатором адсорбционная оболочка, сольватированная с одной стороны дисперсной фазой, с другой – дисперсионной средой, представляет собой самостоятельную третью фазу, разделяющую в эмульсии водную и масляную среды [129,130].

Наличие этой пленки создает энергетический барьер [129,130], препятствующий агрегированию и коалесценции капелек дисперсной среды, и обеспечивает агрегативную устойчивость эмульсий, полученных с использованием эмульгаторов.

В данных экспериментах эмульгатор отсутствует, а его роль выполняют ассоциаты иона гидроксония и гидроксид-иона сольватированные гидратными оболочками, образовавшиеся в композиции из молекул воды в результате механохимических явлений в процессе смешивания и адсорбированные на поверхности частиц масла.

Следовательно, агрегативная устойчивость однокомпонентной водной гомогенной системы, в которой масло является дисперсной фазой, в значительной мере определяется способностью насадок роторных аппаратов генерировать достаточное количество ионов гидроксония и гидроксид-ионов. Причем лучше всего с этой задачей справляются насадки типа два конфузур-диффузора.

Важно отметить, что с увеличением частоты вращения насадок выше значений эффективной частоты активации скорость роста концентрации ионов воды резко падает, так как растет доля гибнущих ионов воды в обратной экзотермической реакции образования из гидроксид-иона и иона гидроксония двух молекул воды. Также следует отметить, что по той же причине увеличение времени смешивания не приводит к значительному увеличению концентрации ионов воды.

Вместе с тем при увеличении времени смешивания и частоты вращения насадок существенно уменьшается размер дисперсных капель и соответственно растет величина их поверхности. При этом скорость роста поверхности дисперсных капель начинает существенно превышать скорость генерирования ионов, и образуется дефицит ионов, необходимых для образования сольватной пленки, обеспечивающей агрегативную устойчивость эмульсионной композиции. Это приводит к резкому уменьшению значения коэффициента устойчивости эмульсии.

Важную информацию о роли ионов H_3O^+ и OH^- и эффективности смешивания дает исследование влияния концентрации масла в эмульсии на коэффициент устойчивости эмульсии для разных типов роторных насадок. Время смешивания было постоянным и равнялось 5 мин. Частота вращения мешалок была одинакова и составляла 400 об/мин. Зависимости влияния концентрации масла на коэффициент устойчивости эмульсии показаны на рис. 5.7.

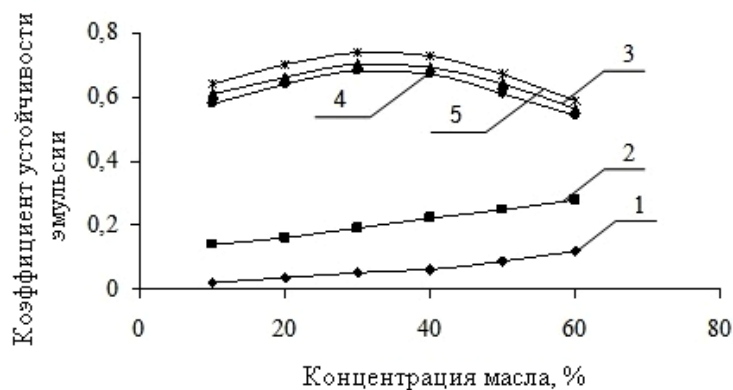


Рисунок 5.7 Зависимость влияния концентрации масла на коэффициент устойчивости эмульсии при использовании насадок различного типа: 1 – диск; 2 – пропеллер; 3 – два конфузора – диффузора; 4 – два конфузора; 5 – четыре конфузора – диффузора

Как следует из графиков, показанных на рис. 5.7 зависимость коэффициента устойчивости эмульсии от концентрации масла для насадок конфузторного типа и конфузтор-диффузорного типа носит экстремальный характер, а для насадок пропеллерного и дискового типа монотонно возрастает.

Это объясняется факторами, связанными с эффективностью конкретного типа насадки генерировать ионы воды и радикалы при разрыве химических связей в молекулах, а также создавать мелкодисперсную фазу масла в композиции.

Для насадок конфузторного и конфузтор-диффузорного типа, генерирующих большое количество ионов воды и создающих по причине сильной турбулизации композиции мелкодисперсные капли масла, коэффициент устойчивости эмульсии начинает значительно убывать тогда, когда доля масла начинает превышать долю воды в композиции.

По совокупности этих факторов влияния на агрегативную устойчивость композиции преимущество имеют насадки типа два конфузтор-диффузора.

Насадки дискового и пропеллерного типа не в состоянии конкурировать по созданию высоких концентраций ионов воды и мелких капель масла с насадками конфузтор-диффузорного типа. При этом часть образующихся ионов воды захватывают и стабилизируют мелкие дисперсные капли масла, а другая часть без положительного эффекта для увеличения доли агрегативно-устойчивой композиции адсорбируются на крупных масляных частицах. В дальнейшем крупные капли объединяются в процессе расслаивания на агрегативно-устойчивую и агрегативно-неустойчивую долю композиции. По мере увеличения доли масла в композиции растет эффективность более устойчивых полезных взаимодействий ионов воды и радикалов на поверхности масляных капель, чем и объясняется небольшой постоянный рост коэффициента устойчивости эмульсии при увеличении доли масла в композиции.

При этом, чем более эффективно насадка генерирует ионы воды и мелкие капли масла в эмульсии, тем выше значения коэффициента устойчивости эмульсии по времени, рис 5.8.

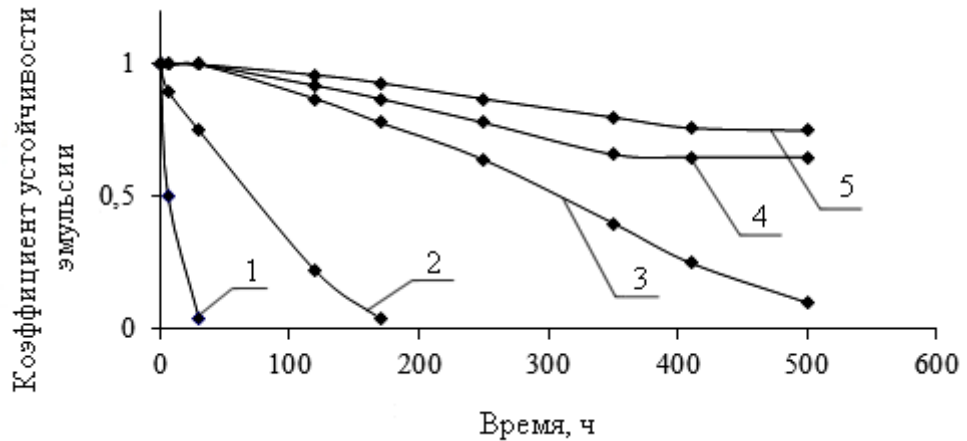
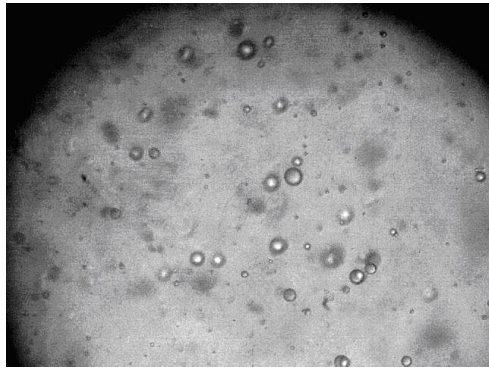


Рисунок 5.8 Зависимость изменения коэффициента устойчивости эмульсии по времени для насадок различного типа: 1 – диск; 2 – пропеллер; 3 – два конфузора; 4 – два конфузора – диффузора; 5 – четыре конфузора – диффузора (частота вращения- 400 об/мин, время перемешивания-5 мин)

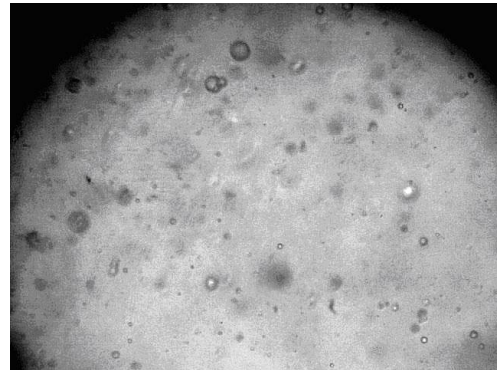
Для анализа влияния различных типов перемешивающих устройств на дисперсный состав получаемой эмульсии использовался электронный микроскоп «Микромед - 3». Пробы отбирались после перемешивания различными типами насадок роторной мешалки и изучались под микроскопом. Сравнительные результаты диспергирования образцов взятых из агрегативно-устойчивой доли композиции, полученных разными насадками, представлены на микрофотографиях рис. 5.9.

Полученные результаты показали, что наилучший эффект диспергирования получается при использовании насадок типа два конфузора-диффузора. При их использовании наиболее равномерно происходит распределение образующихся капель масла, с размерами 0,1 – 0,3 мм, в воде.

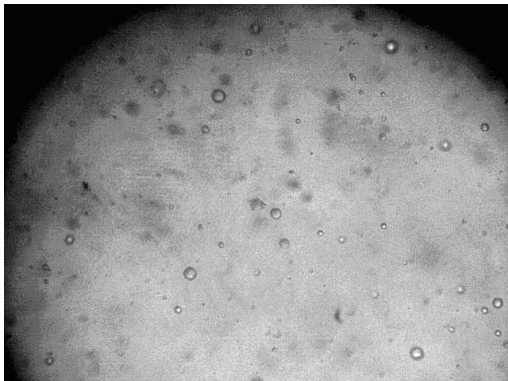
Таким образом, исследования процесса смешивания однокомпонентной водной системы роторной мешалкой с различными насадками с целью получения агрегативно-устойчивой эмульсии показали преимущества насадки с четырьмя конфузорами-диффузорами [127].



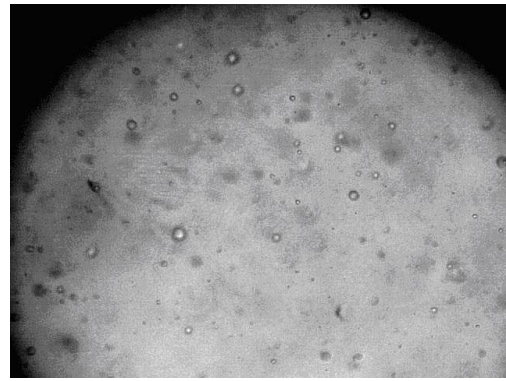
а



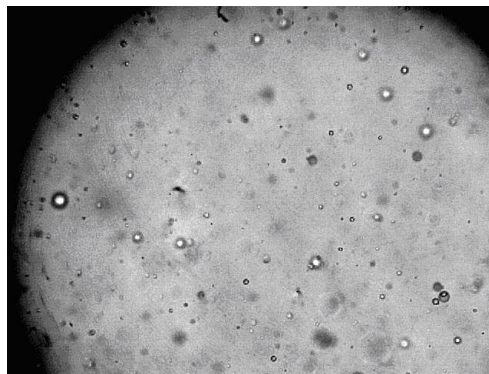
б



в



г



д

Рисунок 5.9 Электронные микрофотографии устойчивой фазы эмульсий, полученные с использованием роторных насадок: а – диск; б – пропеллер; в – два конфузور – диффузора; г – два конфузора; д – четыре конфузор – диффузора (частота вращения-400 об/мин, время перемешивания-5 мин)

5.3.2. Использование механоактивации для повышения микробиологической устойчивости строительных эмульсий

Процессы смешивания широко используются в строительном производстве. Они встречаются как на начальных стадиях строительства (смешивание бетонной композиции, изготовление смазочных материалов, предназначенных препятствовать сцеплению бетона с материалом формы), так и на заключительных этапах (отделочные работы). В строительном производстве при возведении фундамента и несущих конструкций используются специальные формы – опалубки, основная их функция – придание конструкции четких форм и контуров.

Главной проблемой при использовании опалубки является налипание бетона на её внутреннюю часть. Для её решения применяют специальные смазочные материалы, к которым выдвигается ряд жестких требований, при несоблюдении которых нарушаются гладкость поверхностей и четкость профильных кромок, а так же это приводит к сколам на бетонных изделиях и конструкциях [121,131].

В настоящее время в нашей стране повысились обязательные требования к смазке [132,133]:

- повышенная стойкость к коррозии на металлических формах;
- пониженная вязкость для возможности нанесения распылением;
- ускоренное биологическое разложение;
- улучшенные экологические характеристики.

В результате чего на российском рынке появились иностранные предприятия со своей продукцией [134].

Одним из главных положительных факторов при использовании эмульсий, созданных с использованием растительных масел, является экологическая безопасность. Однако хорошие экологические свойства растительных масел имеют и негативную сторону – они подвержены микробиологическому гниению, что ухудшает их потребительские свойства [135].

Разработка составов и технологии приготовления эмульсий растительного происхождения, минимально подверженных микробиологическому гниению, является важной задачей для совершенствования ряда строительных технологических процессов.

С этой целью исследованы возможности повышения микробиологической устойчивости эмульсии типа «масло в воде», без применения эмульгаторов используя метод высокоскоростной механической активации разными насадками роторной мешалки [135].

В качестве эталонных жидкостей были выбраны вода (водопроводная) и масло растительное (ГОСТ Р 52465-2005). Выбор типа масла обусловлен сходными технологическими характеристиками масел растительного происхождения (рапсового, соевого, растительного), входящих в состав биоразлагаемых эмульсий.

Эксперименты проводились на мешалке с центральным валом с использованием различных насадок: диск, пропеллер трехлопастной, конфузторы и конфузтор-диффузоры. Для сопоставимости результатов радиус вращающихся частей у всех устройств был одинаковым. Размеры ёмкости и перемешивающего устройства были фиксированы.

На основании экспериментальных исследований было установлено, что высокоскоростной обработкой при использовании насадок конфузтор и конфузтор-диффузор можно в 1,5-2,5 раза повысить устойчивость эмульсий по сравнению с традиционными способами их приготовления.

5.4. Диспергирование и стабилизация агрегативно-неустойчивых водных суспензий

Процессы диспергирования при стабилизации агрегативно-неустойчивых водных суспензий играют более важную роль, чем при получении стабильных эмульсий. Это в существенной мере связано со значительно большей величиной разности плотностей жидких и твердых компонентов [13,103].

Полученные в процессе сухого диспергирования компоненты можно использовать для приготовления водных суспензий путем смешивания их с водой, водными растворами, активированной водой или активированными растворами.

Диспергирование может производиться и в водной среде и сопровождаться разрывом внутримолекулярных или межмолекулярных связей и этому процессу подвержены все компоненты исходной смеси, включая и молекулы воды.

От исходной дисперсности компонентов гетерогенных водных композиций зависят структурно-физические свойства, влияющие на потребительские качества и агрегативную устойчивость изготовленных в процессе смешивания суспензий. В современных аппаратах для сухого сверхтонкого помола невозможно получить порошки с дисперсностью частиц 1 мкм и менее. Этой цели не позволяет достичь даже длительный помол с использованием дополнительных устройств для отделения мелкодисперсной фракции. В основном это происходит из-за накопления статического заряда и агрегирования очень мелких частиц. Особенности накопления и диссипации энергии в дисперсных частицах исследованы в работе [136].

5.4.1. Особенности диспергирования в воде насадками роторной мешалки

Получение мелкодисперсных водных суспензий или коллоидных систем обычно осуществляется путем дополнительного диспергирования полученных при сухом измельчении компонентов в энергоемких коллоидных мельницах. В этих аппаратах в водной среде с добавлением поверхностно-активных компонентов для стабилизации суспензий происходят длительные процессы раздавливания или истирания компонентов дисперсной фазы, в результате чего и получают высокодисперсные устойчивые суспензии [36].

Повышение производительности, уменьшение металлоемкости и габаритных размеров суспензионных установок является актуальной задачей для такого типа производств. В этой связи представляет практическое значение оценка возможности использования простых по конструкции роторных мешалок

для изготовления суспензий, а также изучение физико-механических явлений, протекающих в процессе смешивания и влияющих на устойчивость таких суспензий и создающих научные основы разработки конкурентных технологических процессов.

Для получения из компонентов исходного полидисперсного состава агрегативно-устойчивой водной суспензии с заданными свойствами нередко в процессе смешивания в роторных мешалках требуется изменить дисперсный состав и морфологию исходных компонентов. Процессы водного диспергирования в роторных мешалках также могут сопровождаться разрывом не только межмолекулярных связей, но и разрушением или модификацией внутримолекулярных связей, в результате которых изменяется морфология компонентов исходной смеси.

Молекулы исходных компонентов можно представить как совокупность точечных элементарных электрических зарядов, которые в силу малых расстояний между ними испытывают сильное притяжение. Если эти молекулы находятся в воде, которая является полярной жидкостью, притяжение между разноименно заряженными частицами исходных компонентов смеси уменьшается по причине влияния на него полярных молекул воды. В законе Кулона [137] ослабление взаимодействия разноименно заряженных частиц по причине влияния полярных жидкостей учитывается введением множителя относительной диэлектрической постоянной ϵ :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (5.20)$$

где F – сила взаимодействия между зарядами разноименных знаков q_1 и q_2 находящихся на расстоянии r друг от друга, ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость, значение которой для вакуума равно 1.

Таким образом, вода, имеющая значение относительной диэлектрической постоянной $\epsilon = 81$, оказывает существенное влияние на ослабление внутримолекулярных связей в исходных компонентах.

В процессе смешивания в воде ослабление внутримолекулярных связей в исходных компонентах усиливается за счет гидромеханических воздействий возникающих в условиях смешивания [138]. При этом часть компонентов разрушается при ударных воздействиях подвижных и стационарных конструктивных элементов смешивающих устройств, а значительная доля компонентов смеси испытывает при смешивании взаимные соударения, которые при определенной интенсивности также способны вызывать их разрушение.

Разрыв межмолекулярных связей в зависимости от их типа приводит к образованию ионов или радикалов, которые активно вступают в физико-химические взаимодействия, как между собой, так и с полярными молекулами воды. При этом взаимодействия дисперсных компонентов с молекулами воды приводит к их гидратации, предотвращающей восстановление разрушенных химических связей и тем самым способствующим диспергированию исходных компонентов в водной фазе [103,138].

Исключительно важное влияние на процесс диспергирования оказывает разрушение молекул воды с образованием ионов гидроксония H_3O^+ и гидроксид-ионов OH^- , которое происходит в условиях интенсивного смешивания [114,127]. Это влияние связано с высокими потенциалами ионизации ионов воды, что позволяет им успешно конкурировать с иными ион-ионными, ион-радикальными или межмолекулярными диполь-дипольными взаимодействиями. Образующиеся при этом комплексы более устойчивы в условиях гидродинамических воздействий по сравнению с гидратными оболочками компонентов дисперсной фазы, что положительно сказывается на процессе диспергирования.

Важно отметить, что в процессах механических воздействий движущимися поверхностями насадок или стенками смесительного аппарата на молекулы воды, а также в результате столкновений их с другими молекулами в объеме смесителя достаточно редкими бывают явления разрыва связей в молекулах воды в процессах смешивания типовыми насадками. Это объясняется аномальной устойчивостью молекул воды, и поэтому насадки типовых конструкций

смесительных аппаратов не эффективны в процессах генерирования больших концентраций ионов воды.

На процесс диспергирования твердых компонентов существенное влияние оказывают гидродинамические явления, возникающие при смешивании насадками разных конструкций. Конструкционные особенности роторных насадок по-разному влияют на режим турбулизации, развивающийся в процессе смешивания. В зависимости от конструкции насадки сильно отличаются по интенсивности и частоте столкновений между твердыми, а также твердыми и жидкими компонентами, приводящими к разрушению химических и физических связей вызывающих диспергирование смеси [1-3,5,6,36].

Важно отметить, что ряд гидродинамических явлений, влияющих на процесс диспергирования компонентов смеси, способны создавать в смесительном аппарате лишь насадки определенного типа. Так, значимые по величине разрушающие воздействия в виде циклических сжимающих и растягивающих усилий на компоненты смеси при быстром вращении ротора создают насадки типа два конфузора и два конфузор-диффузора.

Более того, в воде при таком характере воздействий могут развиваться кавитационные явления, под которыми понимается нарушение сплошности жидкости в зоне низкого давления и устранение разрыва сплошности, в зоне близкой к атмосферному давлению [139]. В свою очередь нарушение сплошности жидкости и образование газовых пузырьков, схлопывающихся при переходе из области разрежения в область давления, приводит к гидравлическим ударным воздействиям на твердые частицы в локальных областях образования и схлопывания пузырьков. При этом схлопывание газовых пузырьков вызывает значительные локальные повышения температуры вследствие диссипации кинетической энергии сталкивающихся частиц [139]. Причем в результате образования и схлопывания в смеси большой объемной доли газовых пузырьков возникают высокочастотные пульсационные явления, которые в совокупности с низкочастотными явлениями, вызванными вращением роторной насадки также способствуют эффективному диспергированию твердых частиц.

Таким образом, в результате комплекса сжимающих, растягивающих, тепловых и гидроударных явлений происходит интенсивный разрыв связей в компонентах смеси с образованием ионов и/или радикалов в твердых компонентах, а также образование ионов гидроксония и гидроксид-ионов, что способствует эффективному диспергированию разрушенных твердых компонентов водной композиции.

Обращает на себя внимание разница в эффективности разрушения химических связей, наблюдающаяся при механоактивационных воздействиях близких по конструкции роторных насадок типа два конфузора и два конфузор-диффузора. Одна из причин, по которой насадка типа два конфузора менее эффективна по сравнению с насадкой типа два конфузор-диффузора, может заключаться в существенно меньшем времени воздействия этой насадки на водную композицию. При этом на выходе водной смеси из узкого сечения насадки типа конфузор в ней происходит более резкое изменение растягивающих усилий на сдавливающие усилия, что должно было бы приводить к большим разрушительным последствиям для молекул композиции.

Прочностные свойства жидких и твердых материалов зависят не только от значений силовых воздействий, а и от их длительности и объясняется это тем, что длительность воздействия может оказаться меньше, соизмеримой или больше характерного времени протекания переходных процессов в структуре материала [140]. При времени воздействия соизмеримого или большего характерного времени структурной релаксации может произойти структурная модификация материала без разрушения его целостности. Причем в соответствии с критерием времени разрушительного воздействия насадка типа конфузор представляется также более предпочтительной в процессах диспергирования [141,142].

Однако, как показано в результате исследований [141,142] более резкое изменение давления в смеси при выходе из области сужения тормозит развитие кавитационных явлений, эффективно влияющих на процесс диспергирования.

В опытах по импульсному нагружению дистиллированной воды, а также в результате теоретических исследований были получены, показанные на рис.5.10,

зависимости порогового (т.е. минимального разрушающего) давления от длительности импульса [140,142].

Причем по результатам этих исследований [140,142] для импульсов микросекундного диапазона пороговая динамическая нагрузка необходимая для возникновения кавитации превышала в десятки раз статический порог кавитации $P_C = 0,1 \text{ МПа}$.

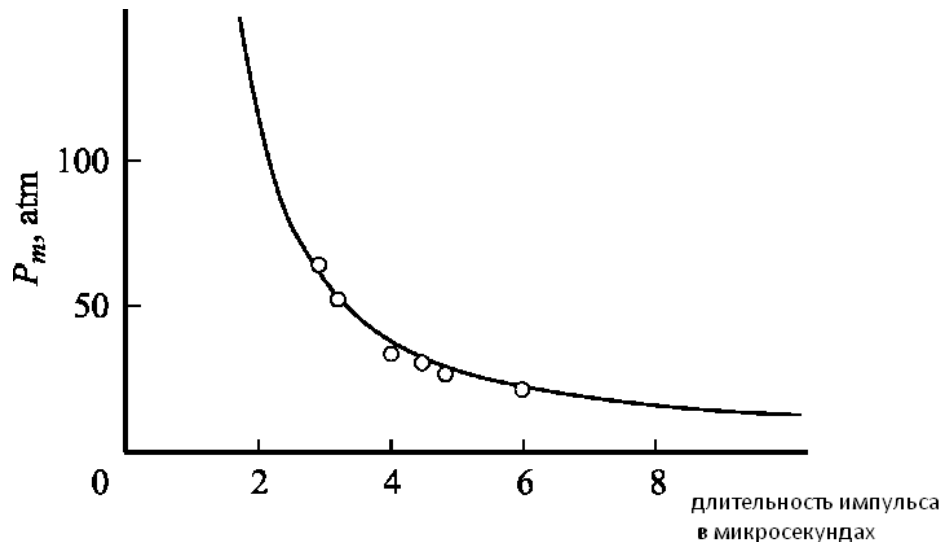


Рисунок 5.10 Экспериментальная (точками) и расчетная (сплошной линией) зависимости прочности дистиллированной воды от длительности импульса в микросекундах по данным работы [142]

Следовательно, для возникновения кавитационного пузырька необходимо изменить структуру воды в некоторой локальной области, а для этого необходимы перемещения молекул воды в этой области под влиянием растягивающих воздействий. Осуществление переходного процесса в воде или водном растворе из изотропного структурно-физического состояния в метастабильное кавитационное состояние требует определенного времени.

Время структурно-физической модификации воды или водного раствора зависит от величины растягивающих воздействий, создаваемых падением давления при прохождении композицией области сужения насадок типа два конфузора или два конфузор-диффузора.

При этом, чем короче длительность растягивающего воздействия, тем большее усилие необходимо приложить, чтобы изменить длину

межмолекулярных связей между отдельными молекулами воды или водного раствора для того, чтобы они сместились на необходимое для образования пузырька расстояние [141,142].

Исходя из работ [141,142] можно сделать вывод, что при резком увеличении давления на выходе из области сужения конфузора не хватает времени для осуществления процесса структурно-физических изменений в дисперсионной среде, что в свою очередь не создает необходимых условий для интенсификации кавитационных явлений в объеме композиции.

Согласно результатам проведенных испытаний [141,142] структурная прочность молекулы воды зависит от длительности импульсного воздействия на нее. При увеличении длительности воздействия увеличивается эффективность разрушения молекул.

Таким образом, можно предположить, что наличие у насадки два конфузор-диффузора после области сужения стенок диффузора, препятствующих резкому увеличению давления в движущейся смеси, приводит к возникновению интенсивных кавитационных явлений в дисперсионной среде, вызывающих разрушение межмолекулярных и внутримолекулярных связей в компонентах смеси, и по этой причине она более эффективна, чем насадка два конфузора.

Важно отметить, что твердые компоненты водной композиции нередко имеют микродефекты структуры, заполненные воздухом. В условиях резкого падения внешнего давления на выходе из области сужения конфузора или конфузор-диффузора замкнутые воздушные полости будут создавать внутри твердых частиц давление, способствующее их разрушению, а из открытых микрополостей твердых частиц в водную фазу будут выходить пузырьки, усиливающие кавитационные явления.

5.4.2. Диспергирование в воде парафина насадками роторной мешалки в режиме механоактивации

Экспериментальные результаты, полученные при исследовании диспергирования в воде парафина, получили объяснение в свете работ [143-145] по исследованию особенностей генерирования ионов воды роторными насадками.

Для исследования зависимости эффективности диспергирования в режиме механоактивации от конструктивных особенностей роторных насадок в качестве дисперсной фазы использован парафин, который представлял собой смесь твердых высокомолекулярных предельных углеводородов с характерной температурой плавления порядка 70°C и плотностью 900 кг/м^3 .

Известно, что парафин не смешивается с водой и в режиме обычного перемешивания получить из кусков парафина гранулы в воде невозможно. Структура парафина общей химической формулы $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ имеет пластинчатый или ленточный вид [146,147] и при разрушении не образует гранул правильной формы. Поэтому трудная задача модификации первичной структуры парафина и получения гранул заданного дисперсного состава во многом выявляет возможности механоактивации как перспективного подхода в деле создания дисперсных систем с заданными свойствами и позволяет оценить влияние на процесс диспергирования конструкции насадок разного типа.

Диспергирование проводилось в смесительном аппарате с центральным валом, рис. 3.1 и насадками типа: диск, пропеллер, два конфузора и два конфузор-диффузора. Диаметр аппарата составлял 150 мм, а диаметр насадок 110 мм. В смесительный аппарат наливался 1 литр воды при температуре 75°C и помещался кусок парафина, массой 10 гр, который подлежал диспергированию. Время диспергирования 10 мин.

Парафин не имеет строго определенной температуры плавления, а плавится в температурном интервале около $\pm 5^{\circ}\text{C}$ в области его характерной температуры плавления. При этом при температуре 75°C в воде находился расплав парафина не

смешивающийся с водой, из которого и получались в режиме механоактивации гранулы парафина [144,145,146].

Гранулы парафина после диспергирования извлекались из аппарата и взвешивались. Эффективность диспергирования оценивалась по весу получившихся гранул [144]. Типичный вид гранул неправильной формы, обусловленный особенностью молекулярной структуры парафина, представлен на рис. 5.11.

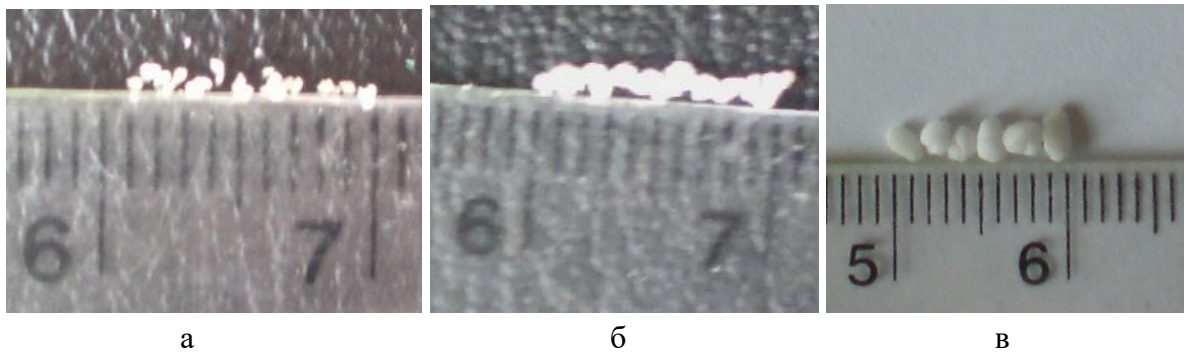


Рисунок 5.11 Гранулы парафина полученные при частоте вращения ротора 1000 об/мин насадками: а – два конфузор – диффузора; б – два конфузора; в – диск и пропеллер

На рис. 5.12 показаны результаты диспергирования, полученные при разных частотах вращения ротора насадками четырех типов, из которых обращает на себя внимание 75 % выход гранул, полученный насадкой типа два конфузор-диффузора.

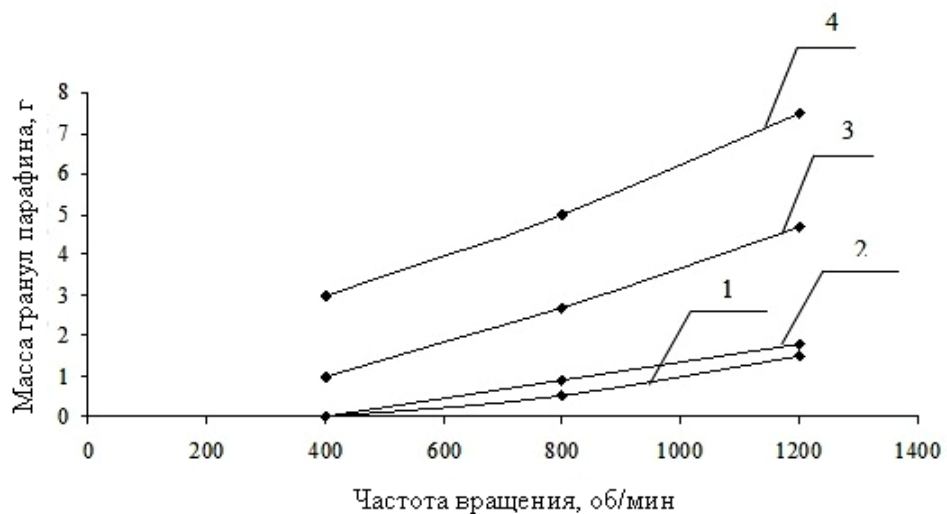


Рисунок 5.12 Выход гранул парафина в граммах при разных частотах вращения ротора с насадками: 1- диск; 2- пропеллер; 3-два конфузора; 4-два конфузор-диффузора

Как видно из данных рис. 5.13, при увеличении частоты вращения ротора уменьшение размера гранул наблюдается для всех типов насадок, но имеет при этом существенные отличия.

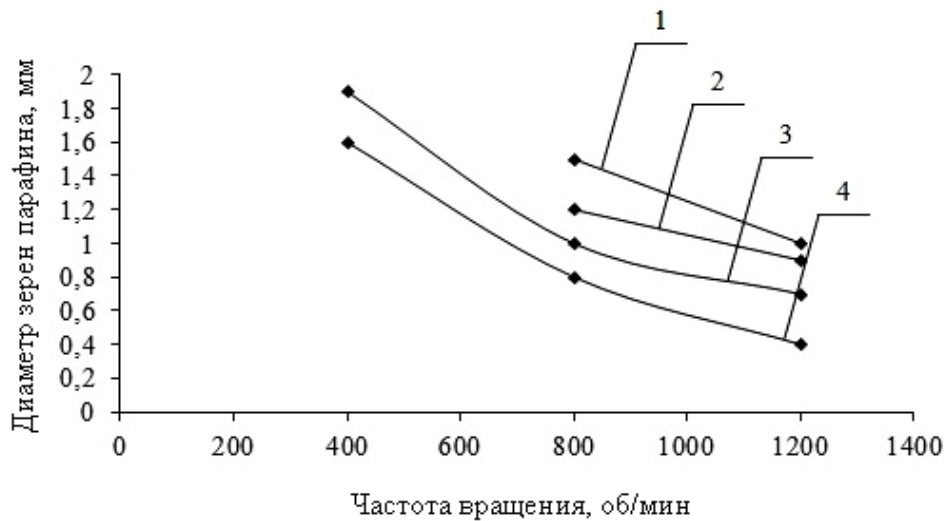


Рисунок 5.13 Зависимость размеров гранул парафина (мм) от частоты вращения ротора с насадками: 1- диск; 2- пропеллер; 3-два конфузора; 4-два конфузор-диффузора

При низких оборотах вращения ротора насадками дискового и пропеллерного типа невозможно получить гранулы парафина. Существенный выход гранул (более 8%) наблюдается только при числе оборотов ротора выше 750 об/мин, и с увеличением числа оборотов выход гранул растет незначительно и не превышает 20%. Причем гранулы парафина, полученные при увеличении числа оборотов насадок дискового и пропеллерного типа, мало различаются (1 – 1,5 мм) по своим размерам.

В отличие от насадок диск и пропеллер при диспергировании парафина насадками два конфузора и два конфузор-диффузора можно получить как значительно больший процентный выход гранул, так и более эффективно влиять на их размеры при изменении скорости вращения насадок. При этом самый большой процентный выход гранул получен с использованием насадки два конфузор-диффузора.

При максимально высоких оборотах ротора, при которых можно было получить самые малые по размерам гранулы, также наиболее эффективной

оказалась насадка два конфузор-диффузора.

Интересно отметить, что при дальнейшем увеличении числа оборотов ротора насадка конфузор-диффузорного типа позволяет получить парафин в новом структурно-физическом состоянии: пористый парафин, который показан на рис. 5.14.

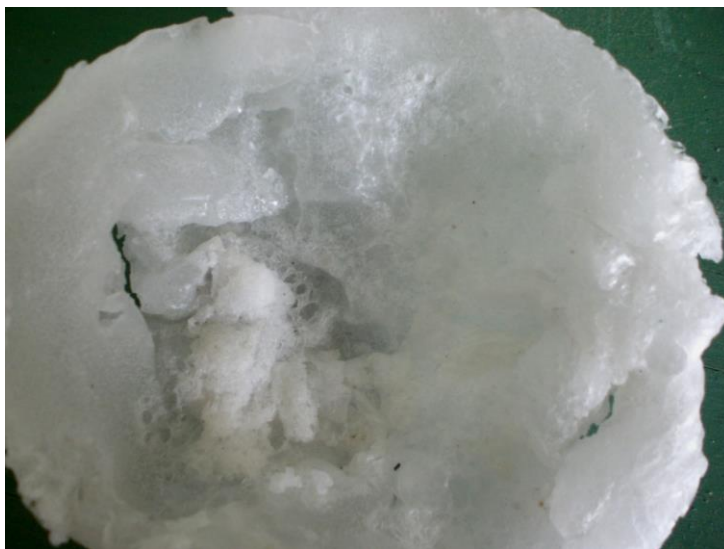


Рисунок 5.14 Пористый парафин получен насадкой два конфузор-диффузора при 1400 об/мин

Особенности процентного выхода и дисперсионного состава гранул парафина при использовании разного типа насадок, а также явление коагуляции дисперсных частиц парафина в микропористую структуру, которая образуется при высоких оборотах насадки два конфузор-диффузора, заслуживают детального рассмотрения с целью объяснения механизмов этих явлений.

В результате механоактивационных явлений происходит разрыв химических связей в молекулах парафина, и образуются радикалы, при разрыве химических связей. Радикалы взаимодействуют с ионами воды, в результате чего блокируются процессы объединения разорванных фрагментов молекул парафина и образуются не слипающиеся друг с другом гранулы парафина в воде.

Так как интенсивность воздействия на расплав парафина и молекулы воды в процессе механоактивации для разных типов насадок существенно различен, то

это приводит как к образованию разных по размерам фрагментов частиц парафина, так и к разной концентрации ионов воды.

У пропеллерной и дисковой насадок выход гранул парафина небольшой, так как они генерируют небольшую концентрацию ионов, которые участвуют в изолировании частиц расплава от объединения. Причем часть ионов непроизводительно расходуется во взаимодействии с крупными фрагментами парафина, которые ионы не в состоянии полностью изолировать.

Насадки два конфузора и два конфузор-диффузора генерируют в разы большую концентрацию ионов гидроксония и гидроксид-ионов и более эффективны в процессе получения мелких фрагментов парафина, поэтому позволяют получить большее число гранул с существенно уменьшающимися размерами при увеличении скорости вращения насадок.

Однако только насадка два конфузор-диффузора при частоте вращения ротора выше 1300 об/мин приводит к образованию нового по морфологии состояния парафина: пористого парафина.

Процесс образования пористого парафина включает две стадии. Вначале образуются дисперсные частицы парафина в виде ассоциатов парафина и ионов воды с сольватными оболочками воды, образующимися вокруг них. Затем в процессе измельчения этих частиц до размера менее 0.1 мм резко возрастает их поверхность, и концентрации ионов воды не хватает, чтобы полностью блокировать частицы парафина таким образом, чтобы образовалась устойчивая суспензия. Отдельные частицы коагулируют в структуру, в которой участки изолированные ионами воды и молекулами воды сочетаются с участками, в которых восстановлены ранее разорванные гидромеханическими воздействиями химические связи. В результате образуется микропористая структура, показанная на рис. 5.14.

Таким образом, насадка два конфузор-диффузора, работающая в режиме механоактивации, позволяет получать наиболее сильно отличающиеся по размерам дисперсные частицы парафина при увеличении скорости вращения ротора, а также изменять его морфологию до состояния пористого материала.

5.4.3. Влияние механоактивации на однородность и реодинамику цементного теста

Строительное производство нуждается в эффективных способах получения пластичных смесей для повышения качества раздельного бетонирования, основанного на последовательном заполнении опалубки жидкими легко текучими смесями, а также для интенсификации процесса нагнетания их в каналы предварительно напряженных конструкций. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется исследованиям в области реодинамических свойств растворов бетонов. Известно [17,59], что при турбулентной активации растворов бетонов происходит увеличение прочности бетонных изделий при понижении вязкости цементного теста и повышении его текучести, что способствует увеличению производительности.

Одним из факторов, влияющих на свойства бетонных смесей, кроме тонкости помола цемента, является степень их однородности. Создать однородную многокомпонентную водную композицию очень непростая задача. Цементные зерна, находящиеся в воде, подчиняясь законам молекулярного притяжения, стремятся объединиться во флоккулы. Причем распределение воды внутри отдельных флоккул и между ними не является равномерным [17,59]. При достижении равномерного распределения воды в цементе технологические свойства приготовленной смеси становятся лучше и, как следствие, повышаются прочностные свойства затвердевшего бетона. Одним из методов равномерного распределения воды является метод турбулентной активации [18,19].

Эффективное смешивание может быть достигнуто при определенной скорости движения рабочих органов смесителя и зависит от его конструкции. Оно достигается путем увеличения скорости смешивающего устройства выше некоторого критического значения, при котором осуществляется переход ламинарного движения водной композиции в турбулентный режим, характеризующийся беспорядочным движением смешиваемых частиц. В результате этого преследуется цель получить структурно-физическое состояние

цементного теста, характеризующееся однородностью цементных зерен в воде с включениями воздушных пузырьков улучшающих реодинамические свойства композиции.

Для создания условий турбулентной механоактивации актуальна проблема разработки промышленных смешивающих устройств роторного типа, обладающих высокими технико-экономическими показателями. Исследование влияния различных роторных насадок на равномерность распределения воды в смеси с цементом проводилось с помощью анализа образцов с использованием электронного микроскопа.

Смешивание проводилось на мешалке с центральным валом, рис. 3.1. При использовании насадок: пропеллер трехлопастной ($d_M = 110$ мм), два конфузора ($d_M = 110$ мм, $d_{вх}/d_{вых} = 25/12$ мм) и два конфузур-диффузора ($d_M = 110$ мм, $d_{вх,к} (d_{вых,д})/d_{вых,к} (d_{вх,д}) = 23/11$ мм), рис. 5.15.

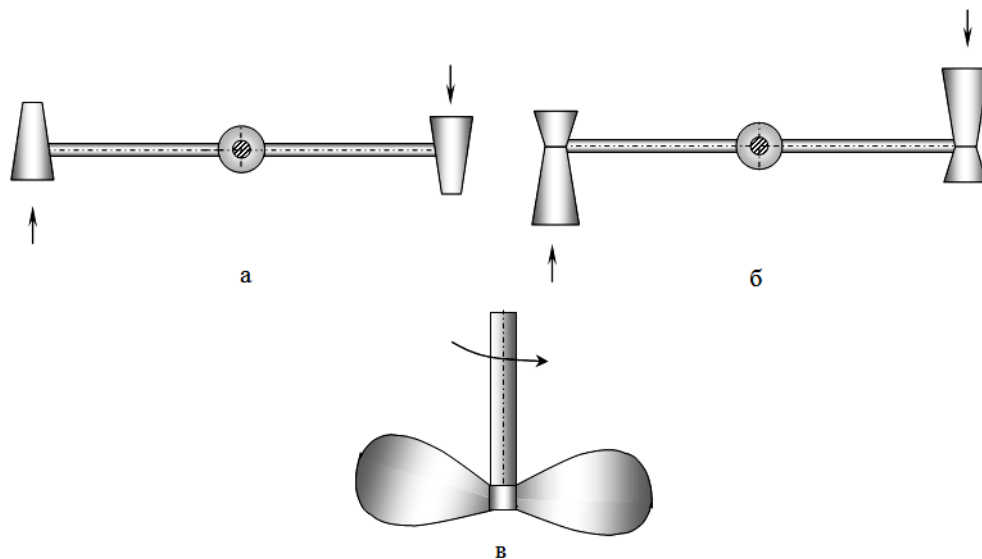


Рисунок 5.15 Насадки для роторной мешалки: а – два конфузора; б – два конфузур-диффузора; в – пропеллер

Для приготовления цементного теста использовался цемент М 500 ДО, Артэкстрой (состав: портландцемент ПЦ 500ДО, ГОСТ 10178-85) и водопроводная вода.

Причем интенсивное смешивание реагирующих компонентов при помощи быстроходных вращающихся мешалок способствует не только гомогенизации систем, а также интенсифицирует протекающие в них тепло- и массообменные

процессы. Повышение производительности роторного оборудования достигается за счет интенсивной турбулизации реагирующих компонентов, увеличивающей поверхностный контакт фаз при эффективном измельчении исходных продуктов [19].

Предварительные исследования по определению характерных параметров смешивания (частота вращения, время смешивания) показали, что наиболее оптимальными условиями для получения однородного цементного теста с соотношением вода/цемент = 0,5 являются:

- скорость смешивания 1000 об/мин;
- время смешивания 1 мин.

При этом происходит увеличение числа интенсивных соударений коллоидных зерен цемента, что приводит к обдиранию с них гидратных пленок с образованием ионов в цементной фазе, а это в свою очередь интенсифицирует течение физико-химических процессов [17,19].

По мнению М. Пападакиса [19] турбулентная активация заключается в расщеплении флоккул цементно-водной суспензии, в результате чего увеличивается насыщенность суспензии малыми коллоидными частицами, а тесто становится более маслянистым и стабильным. Однако при этом не указываются причины, которые препятствуют ионам цементной фазы расщепленных флоккул агрегироваться вновь.

Важным фактором, влияющим на реодинамические свойства цементных смесей, является образование ионов гидроксония H_3O^+ и гидроксид-ионов OH^- из молекул воды в процессе механоактивации [107,115,148]:



Образующиеся ионы мгновенно гидратируются и за счет этого в условиях не интенсивных воздействий стабильны и слабоактивны в физико-химических взаимодействиях. Однако в условиях интенсивного перемешивания эти ионы теряют свои гидратные оболочки и легко вступают в физико-химические взаимодействия. При этом по причине высокой полярности ионов гидроксония и гидроксид-ионов [115] они успешно конкурируют в ионных реакциях с

полярными ионами цементной фазы, способными взаимодействовать между собой. Это приводит к блокированию роста флоккулярных цементных образований и цементно-водная суспензия становится менее дисперсной по составу.

Для улучшения реодинамических свойств цементных смесей в качестве активных модификаторов их структуры и реодинамических свойств иногда используют пластифицирующие химические добавки. По сути, ионы гидроксония и гидроксид-ионы в условиях интенсивного перемешивания успешно заменяют эти пластификаторы.

Следовательно, ионы гидроксония и гидроксид-ионы, образующиеся из молекул воды в процессе механоактивации, играют важную роль в интенсификации физико-химических процессов, а также улучшении и стабилизации реодинамических свойств цементного теста.

Результаты экспериментальных исследований образцов цементного теста, полученных с использованием разных насадок, представлены на рис. 5.16.

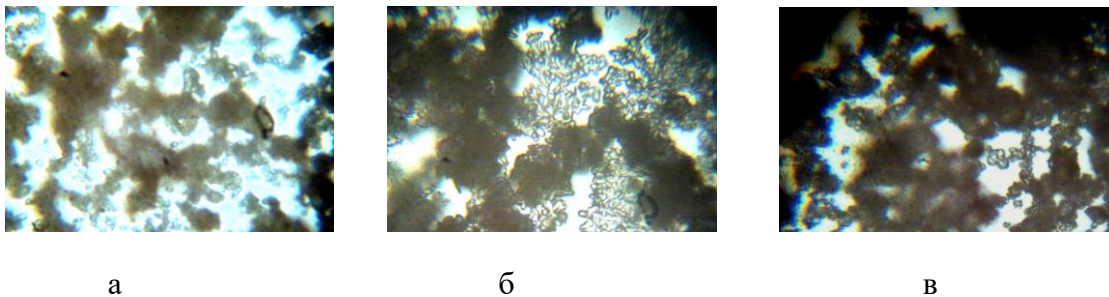


Рисунок 5.16 Электронные микрофотографии структуры цементного теста, полученные различными насадками: а – два конфузор-диффузора; б – два конфузора; в - пропеллер (частота вращения - 1000 об/мин, время перемешивания - 1 мин, увеличение 100 крат)

Анализ вида неоднородностей образцов теста, полученных при обработке тремя типами насадок роторной мешалки, представленных на рис. 5.16 при увеличении микроскопа 100 крат, показывает, что в результате смешивания образуются частицы с размерами порядка $2 \cdot 10^{-2}$ мм, стремящиеся соединяться во флоккулы. Это явление наиболее ярко выражено в образцах цементного теста,

обработанного насадками два конфузора и пропеллер, что отрицательно сказывается на подвижности смеси.

Важным характерным отличием образца смеси, полученного с использованием насадки два конфузор-диффузора, является то, что соотношение размеров цементных зерен в этом случае имеет меньшую полидисперсность, и наблюдаются равномерные водные промежутки между зернами.

Это объясняется тем, что при использовании насадки два конфузор - диффузора, в результате её сложной геометрии при вращении происходит сильная турбулизация потока перемешиваемой смеси. По этой причине образуется больше ионов гидроксония и гидроксид-ионов, при активном участии которых формируется более равномерное распределение цементной и водной фракции. Кроме этого в смеси образуются мелкие частицы воздушных пузырьков, уменьшающих поверхностное натяжение воды, что дополнительно положительно сказывается на подвижности цементно-водной суспензии.

Образцы суспензий, полученные другими насадками, имеют микроструктуры, характеризующиеся наличием значительно большей связанности более крупных фрагментов цементной фазы, что будет вызывать затруднения процесса течения этих суспензий.

Таким образом, сравнение получаемых образцов цементного теста показало преимущество турбулентной активации с использованием насадки два конфузор – диффузора. Экспериментально показано, что турбулентная активация с использованием этой насадки позволяет получить наиболее однородную и подвижную смесь с равномерным распределением воды в цементе.

5.5. Методика оценки механоактивационной эффективности насадок роторной мешалки

При разработке конструкций смешивающих устройств, работающих в режиме механоактивации, необходимо иметь методику оценки механоактивационной эффективности создаваемых насадок роторных мешалок.

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что наиболее простой универсальной и точной методикой может служить эксперимент по механоактивации дистиллированной воды.

Основные аргументы в пользу такого выбора заключаются в следующем:

- водные системы являются наиболее широко распространенными гетерогенными и гомогенными дисперсными системами;
- ионы гидроксония и гидроксид-ионы имеют ключевое значение при стабилизации агрегативно-неустойчивых композиций и в процессах модификации структурно-физических состояний водной дисперсионной среды и дисперсной фазы;
- молекула воды является одним из наиболее устойчивых соединений к внутримолекулярным разрушениям;
- вода находится в жидком состоянии в интервале температур, представляющих наибольший интерес для многих технологических процессов в различных отраслях промышленности;
- дистиллированная вода как расходный экспериментальный материал легко доступна, имеет низкую стоимость и обладает стандартными физико-химическими характеристиками, воспроизводимыми с высокой точностью;
- в результате проведенных исследований установлена особенность механоактивации воды, состоящая в наличии характерной точки, разделяющей высокоскоростной и низкоскоростной режим механоактивации.

Характерная точка, отделяющая низкоскоростной режим механоактивации от высокоскоростного режима, позволяет определить для каждого типа насадки рационально затраченную энергию, позволяющую произвести необходимые разрушения внутримолекулярных связей молекулы воды.

Таким образом, примером стандартизованной номограммы оценки механоактивационной эффективности насадок разных конструкций может служить номограмма зависимости рН от эффективной частоты активации для разного типа насадок, показанная на рис. 5.17.



Рисунок 5.17 Номограмма механоактивационной эффективности роторных насадок:
1 - конфузор-диффузор; 2 – конфузор; 3 – пропеллер

Таким образом, чем ближе к началу координат номограммы значение характерной точки эффективной частоты активации, отделяющей высокоскоростной режим образования ионов воды от низкоскоростного, тем более эффективной является конструкция роторной насадки.

Хорошей реализацией данной методики может являться создание и производство специализированного научно-исследовательского прибора для определения изменения рН дистиллированной воды в процессе механоактивации роторным устройством со стандартизованной системой крепления разного типа насадок.

Технические требования к такому прибору включают следующие основные положения:

- электродвигатель должен обеспечивать стабильное поддержание числа оборотов в диапазоне 100 -1500 об/мин при изменении нагрузки;
- контрольно-измерительная система прибора должна обеспечивать измерение рН активированной воды и всех стандартизованных измерений, характеризующих смешивающее устройство с выводом результатов на ЭВМ;
- прибор должен комплектоваться набором сосудов для смешивания разных типоразмеров;

- ротор должен иметь комплект стандартизованных устройств для крепления насадок разных конструкций.

Наличие такого прибора позволит давать обоснованные оценки по использованию того или иного типа смешивающих устройств для использования в технологических процессах, требующих получения агрегативно-устойчивых гомогенных или гетерогенных дисперсных водных композиций.

ГЛАВА 6. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАСАДКИ КОНФУЗОР-ДИФФУЗОР В РАЗНЫХ ОБЛАСТЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

6.1. Микробиологическая устойчивость активированной воды

Вода является важнейшим химическим соединением, обеспечивающим жизнедеятельность всего живого на земле [34]. В том числе и многим микроорганизмам причиняющим вред здоровью людей. Ряд из этих микроорганизмов способен оказывать негативное влияние на используемые человеком продукты питания и промышленные изделия. В этой связи представляется важным исследовать влияние механоактивации воды на её микробиологическую устойчивость.

С этой целью вода подвергалась активации роторной мешалкой с насадкой типа конфузор-диффузор. Скорость вращения мешалки изменялась от 200 до 1200 об/мин, с шагом 200 об/мин, время перемешивания 10 минут. По окончании процесса активации измерялась рН воды. Образцы с активированной водой и образцы той же самой воды не прошедшие активацию помещались в закрытые не герметизированные стеклянные емкости и в течение 6 месяцев периодически производились визуальные наблюдения за жизнедеятельностью микроорганизмов в этих емкостях.

В результате проведенного эксперимента выяснилось, что в сосудах с активированной водой жизнедеятельность микроорганизмов в первые 3 месяца не наблюдается, а начиная с 4 месяца появляются признаки жизнедеятельности микроорганизмов, возникновение зеленой плесени. У образцов воды, не прошедших процесс активации первые признаки жизнедеятельности микроорганизмов появляются на четвертой неделе первого месяца, а во 2-ом месяце происходит бурный рост микроорганизмов.

Таким образом, в результате обработки воды роторной мешалкой с насадкой конфузор-диффузор повышается микробиологическая устойчивость активированной воды, что создает преимущества при использовании этой воды в технологических процессах [135].

6.2. Влияние активированной воды на биохимические процессы

Изучение влияния ионов воды на процессы жизнедеятельности растений, животных и человека представляет приоритетное значение. Поскольку человек примерно на 70% состоит из воды [34], то неудивительно, что качество воды влияет на его самочувствие. Ионы воды эффективны при ингибировании ряда биохимических реакций, оказывающих вредное воздействие на организм человека, но, возможно, они эффективны и при стимулировании биохимических реакций, влияющих на укрепление здоровья. Однако эти исследования выходят за рамки проведенных работ и требуют усилий междисциплинарных коллективов исследователей.

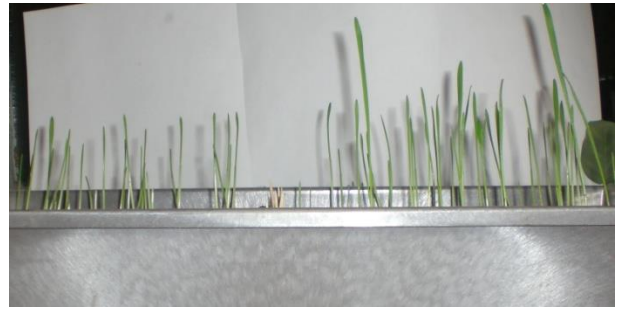
Поэтому из возможного обширного комплекса исследований этого направления в данном разделе рассмотрено влияние активированной воды на процесс всхожести растений. На рис. 6.1 показаны сравнительные эксперименты по влиянию на процесс всхожести растений, выращиваемых в идентичных условиях, но поливаемые при этом одинаковыми количествами воды, одни обычной, а другие активированной водой.

Установлено, всхожесть растений увеличивается в два раза и первые две недели наблюдается активный рост растений, поливаемых активированной водой.

Важно отметить, что в результате данных экспериментов остается невыясненным механизм резкого повышения всхожести зерен растений. Это может быть результатом подавления биохимических процессов.



а



б

Рисунок 6.1 Растения: а – декоративные, слева поливаемые обычной, справа активированной водой; б - сельскохозяйственные: слева поливаемые обычной, справа активированной водой.

6.3. Повышение качества и микробиологической устойчивости технологических жидкостей для механообработки металлов

Технологические жидкости, используемые при механической обработке металлов, представляют собой многокомпонентную смесь, в состав которой входят эмульгаторы, стабилизаторы эмульсий, ингибиторы коррозии, противоизносные и противозадирочные вещества и ряд других компонентов [149]. В зависимости от состава эмульсии они подразделяются на масляные, полусинтетические и синтетические, причем выпускаются они в концентрированном виде, а используются в виде разбавленной водой эмульсии.

Важными потребительскими свойствами технологических эмульсий являются как наличие в их составе компонентов в виде тонкодисперсных комплексов, так и продолжительная агрегативная устойчивость. Увеличение дисперсности приводит к таким нежелательным явлениям, как снижение чистоты обрабатываемой поверхности, устойчивости режущего инструмента, появлению на поверхности материала окисленных пятен и т. д. При этом агрегативная неустойчивость нередко вызывается биохимическими процессами. Активность бактерий приводит к гниению технологических жидкостей, которое сопровождается появлением неприятного запаха. Интенсивность загнивания

зависит от климатических условий эксплуатации и возникает в интервале от 2 до 6 месяцев [118].

Для стабилизации технологических эмульсий и устранения негативных явлений, вызванных биохимическими процессами, в процессе её приготовления из концентрированных растворов был использован метод механической активации насадкой типа конфузор-диффузор [118].

В сравнительных экспериментальных исследованиях приготовления эмульсий из концентрированных растворов было установлено, что механическая активация в течение 5 минут при вращении ротора со скоростью 400 об/мин насадкой типа конфузор-диффузор повышает время агрегативной устойчивости технологических жидкостей в 2,5 раза.

Полученный результат объясняется характерными особенностями механоактивационных явлений, протекающих в приготавливаемой технологической жидкости:

- гидроударными воздействиями, разрушающими микроорганизмы при прохождении активируемой композиции области сужения конфузор-диффузорной насадки;
- локальными повышениями температуры, приводящими к тепловой гибели микроорганизмов;
- сдавливающими и разрывающими воздействиями на микроорганизмы со стороны водной композиции при резкой смене разрежения на давление при прохождении неё внутри насадки;
- ингибированию биохимических реакций за счет увеличения концентрации ионов воды в технологической жидкости.

При схлопывании пузырьков газа, образующихся при прохождении водной многокомпонентной композиции области сужения конфузор-диффузорной насадки, не только возникают мощные ударные пульсационные воздействия, а и в силу локальной диссипации энергии схлопывания резко возрастает температура в локальной области схлопывания. Всё это негативно влияет на жизнедеятельность

микроорганизмов и при этом положительно сказывается на получении тонкодисперсного состава дисперсной фазы технологических жидкостей.

Высокая концентрация ионов воды в технологической жидкости образуется по причине эффективного генерирования их при работе насадки типа конфузор-диффузор в режиме активации.

Важно отметить, что путем механоактивации при получении из концентрированных растворов технологических жидкостей, по-видимому, можно получить более эффективно работающие композиции при механической обработке металлов. Потенциальные возможности в деле создания таких композиций заключаются в способности получения с использованием насадок типа конфузор-диффузор высокой концентрации ионов воды, которые улучшая агрегативную устойчивость эмульсии позволят ввести в композицию большее количество компонентов влияющих на качество механообработки металлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты диссертационных исследований.

1. Анализ методов получения стабильных, агрегативно-устойчивых дисперсных водных эмульсий и суспензий для строительной индустрии показал, что наиболее эффективными и экономичными способами являются процессы перемешивания в режиме механоактивации. Проведенные исследования влияния процессов перемешивания на структурно-физические модификации и стабилизацию агрегативно-неустойчивых дисперсных водных строительных композиций показывают преимущественное использование в их производстве роторных мешалок с различными видами насадок.

2. Предварительные исследования по влиянию конструктивных и режимных параметров роторных насадок на агрегативную устойчивость гомогенных и гетерогенных водных композиций показали, что наиболее высокие показатели устойчивости эмульсий обеспечивает мешалка с 4 конфузур-диффузорами при времени перемешивания 4,5-5,5 минут.

3. Исследовано влияние процессов перемешивания водных композиций роторной мешалкой с различными насадками на физический и химический механизмы стабилизации агрегативного состояния системы. Показано, что при разных скоростях вращения мешалки наблюдаются два режима образования ионов гидроксония и гидроксид-ионов, различающихся диапазоном изменения частоты вращения. Показано, что насадка конфузур-диффузор генерирует при низкоскоростном (до 450 об/мин) режиме в 2,7-5 раз, а при высокоскоростном (более 450 об/мин) в 1,8-3,2 раза большее количество ионов, по сравнению с насадками других конструкций.

4. Предложена конструкция насадки типа конфузур-диффузор для роторной мешалки, предназначенная для высокоинтенсивных процессов смешивания. Показано, что при вращении данной насадки за счет образования высокой турбулентности протекают процессы диспергирования и механоактивации, обеспечивающие увеличение стабилизации агрегативно-неустойчивых дисперсных водных строительных композиций до 30 раз по сравнению с другими

насадками. Найдено, что разработанная конструкция насадки конфузор-диффузор позволяет получить стабильные строительные эмульсии типа «вода-масло» без использования поверхностно-активных веществ с размером масляных капель 0,1-0,3 мм. Подана заявка на патент на изобретение.

5. Исследование влияния разного типа насадок роторной мешалки на образование дисперсий в смеси вода - парафин, показало, что разработанная насадка конфузор-диффузор позволяет получить гранулы размером до 0,4 мм, что невозможно при использовании других насадок.

Исследованы процессы стабилизации агрегативно-неустойчивых дисперсных водных строительных композиций во времени. Установлено, что в течение 500 часов хранения стабильность дисперсий в пересчете на ионные ассоциаты снизилась не более чем на 15 %, что соответствует коэффициенту устойчивости эмульсии 0,72. В дальнейшем стабильность дисперсий не изменяется.

Изучена возможность использования насадки для перемешивания цементных растворов. Найдено, что при перемешивании цементного теста с В/Ц = 0,5 получается более равномерное распределение цементных зерен по сравнению с другими типами насадок, определены размеры полученных цементных флоккул порядка $2 \cdot 10^{-2}$ мм.

6. Проведена оценка перспектив использования насадки конфузор-диффузор для роторной мешалки в различных областях промышленности. Так показано, что микробиологическая устойчивость технологических жидкостей для механообработки металлов при активации их насадкой конфузор-диффузор в течение 5 минут при вращении ротора со скоростью 400 об/мин повышается в 2,5 раза.

7. Разработки апробированы на предприятиях Ивановской области (имеются заключения предприятий: ЗАО «Железобетон» и ООО «Кварц-Строй»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аввакумов, Е.Г. Механические методы активации химических процессов / Е.Г. Аввакумов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск: Наука, 1986. - 305с.
2. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк; пер. с польск. под ред. И.А. Щупляка. - Л.: Химия, 1975. - 384с.
3. Брагинский, Л.Н. Перемешивание в жидких средах / Л.Н. Брагинский, В.И. Бергачев, В.М. Барабаш. - Л.: Химия, 1984. - 336с.
4. Холланд, Ф.А. Химические реакторы и смесители для жидкофазных процессов: монография / Ф.А.Холланд, Ф.С. Чапман; пер. с англ. Ю. И. Лазьяна, Г. М. Татаринцевой, под ред. Ю. М. Жорова. - М.: Химия, 1974. - 208с.
5. Штербачек, З., Перемешивание в химической промышленности / З. Штербачек, П. Тауск; пер. с чеш. под ред. В.И.Павлушенко. - Л.: Гос. науч.-техн. изд-во хим. лит-ры, 1963. - 416с.
6. Кафаров, В.В. Процессы перемешивания в жидких средах / В.В. Кафаров; под ред. А.Н. Плановского. - М.; Л.: Гос. науч.-техн. изд-во хим. лит-ры, 1949. - 88с.
7. Васильцов, Э.А. Аппараты для перемешивания жидких сред: справочное пособие / Э.А. Васильцов, В.Г. Ушаков. - Л.: Машиностроение, 1979. - 272с.
8. Рябчиков, Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Б.Е.Рябчиков. - М.: ДеЛи принт, 2004. - 328с.
9. Абрамов, Н.Н. Водоснабжение: Учебник для вузов/ Н.Н. Абрамов. - М.: Стройиздат, 1982. - 440с.
10. Фримантл, М. Химия в действии. Часть 2: пер с англ. / М. Фримантл. - М.: Мир, 1998. - 620с.

11. Калюкова, Е.Н. Химия воды. Учебное пособие / Л.В. Петрова, Е.Н. Калюкова. - Ульяновск: УлГТУ, 2004. - 48с.
12. Химия в строительстве. Учебник для вузов / под ред. д.х.н., проф. В.И.Сидорова. - М.: АВС, 2007. - 312с.
13. Фролов, Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю.Г. Фролов. - М.: Химия, 1989. – 464с.
14. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. - М.: Химия, 1979. – 568с.
15. Микробиологическое разрушение материалов: Учебное пособие / В.Т.Ерофеев [и др.]; под общей редакцией В.Т. Ерофеева и В.Ф. Смирнова. - М.: Изд-во АВС, 2008. – 128с.
16. Поверхностно-активные вещества: синтез, анализ, свойства, применение: учебное пособие для вузов/ под ред. А.А. Абрамзона. - Л.: Химия, 1988. – 200с.
17. Совалов, И. Н. Методы активации цементов и влияние на свойства бетонов / И.Н. Совалов, Ю. Г. Хаютин. - М.: Госстройиздат, 1963. - 41с.
18. Веригин, Ю.А. Многократная обработка вяжущих в активаторах-смесителях непрерывного действия / Ю.А. Веригин, В.В Соколов // Строит. материалы. - 1971. - № 1. -С. 18.
19. Papadakis, M. Recherches sur le malaxage a "baute turbulence" des suspensions de ciment / M. Papadakis. - Extrait de la Revue des Matiriaux de construction, 1957, №498. - P.37.
20. Пригожин, И.Р. Молекулярная теория растворов: пер. с англ. / И.Р. Пригожин; под ред. В.М. Глазова. - М.: Металлургия, 1990. - 360с.
21. Де Жен, П. Идеи скейлинга в физике полимеров / П. де Жен ; пер. с англ. под ред. И. М. Лифшица. - М.: Мир, 1982.- 376с.
22. Дерягин, В.Б. Молекулярные притяжения конденсированных тел / В.Б. Дерягин, И.И. Абрикосова, Е.М. Лившиц // Успехи Физических Наук. - 2015. - Т.185, №9. - С.981-1001.

23. Попков, К.Н. Строительные материалы и изделия / К.Н. Попков, М.Б. Кацко. - М.: Высшая школа, 2001.- 367с.
24. Строительные материалы: Учебно-справочное пособие / под ред. Г.В. Несветаева. - Ростов на Дону: Феникс, 2005. – 508с.
25. Барабанщиков, Ю.Г. Строительные материалы и изделия / Ю.Г. Барабанщиков. - М.: Издательский центр Академия, 2008. – 368с.
26. Домокеев, А.Г. Строительные материалы: Учебник для строительных вузов / А.Г. Домокеев. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1989. – 495с.
27. Гранковский, И.Г. Структурообразование в минеральных вяжущих системах / И.Г. Гранковский. - Киев: Наукова думка, 1984.- 299с.
28. Белоусов, Е.Д. Малярные и штукатурные работы / Е.Д. Белоусов, О.С. Вершинина. - М.: Высшая школа, 1990. – 288с.
29. Костенко, Е.М. Общестроительные отделочные работы: Практическое пособие для строителя /Е.М. Костенко. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2011.- 304с.
30. Фундаментальные основы механической активации и механохимических технологий / отв. ред. Е.Г. Авакумов. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. – 343с.
31. Уваров, В.А. Новое направление механоактивации цемента / В.А. Уваров, В.Г. Шаптала, В.В. Шаптала, Д.А. Овчинников // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.- 2013.- № 3.- С. 68-73.
32. Харахаш, В.П. Исследование времени гомогенизации и энергетических затрат при перемешивании одноярусными и многоярусными мешалками в ореберных аппаратах: автореф. канд. дисс. / В.П. Харахаш. – МИХМ., 1970.- 22с.
33. Паулинг, Л. Природа химической связи / Перевод с англ. М.Е. Дяткиной; под ред. Я.К. Сыркина. - М.-Л.: ГНТИ химической литературы, 1947. - 438с.

34. Зацепина, Н.Г. Физические свойства и структура воды / Н.Г. Зацепина. - М.: Изд-во МГУ, 1987. – 171с.
35. Бакланов, Н.А. Перемешивание жидкостей / Н.А. Бакланов. - Л.: Химия, 1979. – 63с.
36. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753с.
37. Болдырев, В.В. Механохимический синтез в неорганической химии: сб. науч. тр. / В.В. Болдырев; под ред. Е.Г. Аввакумова. - Новосибирск: Наука. Сиб.отд., 1991, с. 5-32.
38. Бутягин, П.Ю. Кинетика и природа механохимических реакций / П.Ю. Бутягин // Успехи химии. - 1971. - Т.40, Выпуск 11. - С.1935-1959.
39. Болдырев, В.В. Экспериментальные методы в механохимии твердых неорганических веществ / В.В. Болдырев. - Новосибирск: Наука. Сиб.отд., 1983. - 64с.
40. Бергачев, В.И. Гидродинамика, тепло- и массопередача / В.И. Бегачев, И.С. Павлушенко, Л.Н. Брагинский // Процессы в химической технологии. - М.: Наука, 1969. - С. 120-127.
41. Кафаров, В.В. Основы массопередачи. Системы газ-жидкость, пар-жидкость, жидкость-жидкость / В.В. Кафаров. - 3-е изд. перераб. – М.: Высшая школа, 1979. - 439с.
42. Павлушенко, И.С. Время гомогенизации и затраты мощности при перемешивании высоковязких неньютоновских жидкостей / И.С. Павлушенко, Б.Б. Копылева // Теория и практика перемешивания в жидких средах. – М.: НИИТЭхим, 1973. – С. 15-19.
43. Броунштейн, Б.И. Гидродинамика, массо- и теплообмен в дисперсных системах / Б.И. Броунштейн, Г.А. Фишбейн. – Л.: Химия, 1977. – 280с.
44. Гупало, Ю.П. Массообмен реагирующих частиц с потоком / Ю.П. Гупало, А.Д. Полянин, Ю.С. Рязанцев. – М.: Наука, 1985. – 336с.

45. Брагинский, Л. Н. О массопередаче в аппаратах с перемешивающими устройствами / Л.Н. Брагинский, М. С. Павлушенко // ЖПХ. - 1965. - Т. 38, № 6. -С. 1290 - 1295.
46. Монин, А.С. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности / А.С. Монин, А.М. Яглом. – М.: Наука, 1965. – 640с.
47. Фриш, У. Турбулентность. Наследие Колмогорова А.Н. / У. Фриш. – М.: ФАЗИС, 1998. – 346с.
48. Хинце, И.О. Турбулентность, её механизм и теория / И.О. Хинце. – М.: ГИФМЛ. – 1963. – 681с.
49. Процессы и аппараты химической промышленности / под ред. П.Г. Романкова, М.И. Курочкиной и др. - Л.: Химия, 1989. - 559с.
50. Соколов, В.Н. Газожидкостные реакторы / В.Н. Соколов, И.В. Доманский. - Л.: Машиностроение, 1976. - 216с.
51. Смирнов, Н.Н. Реакторы в химической промышленности / Н.Н. Смирнов. - М.: Высшая школа, 1980. – 72с.
52. Романков, П.Г. Гидромеханические процессы химической технологии / П.Г. Романков, М.И. Курочкина. - М.: Химия, 1982 – 400с.
53. Кожевников, С.О. Разработка смесителя для перемешивания жидких и гетерогенных сред: Дис ... канд. техн. наук: 05.02.13: Иваново, 2005 140с. РГБ ОД, 61:05-5/3331.
54. Орлов В.А., Туманов Ю.В., Карасев И.Н. I Всесоюзная конф. по теории и практики перемешивания СССР, 1969.
55. Орлов В.А. I Всесоюзная конф. по теории и практики перемешивания СССР, 1969.
56. Вишневский Н.Е. Журнал прикладной химии. №34, 1955. – С. 1071.
57. Лесовик, В.С. Управление структурообразованием строительных композитов: монография / В.С. Лесовик, Н.Л. Чулкова. - Омск: СибАДИ, 2011.- 459с.

58. Семериков, И.С. Физическая химия строительных материалов: уч. пособие / И.С. Семериков, Е.С. Герасимова.- Екатеринбург: Изд-воУрал.ун-та, 2015.- 204с.
59. Баженов, Ю.М. Технология бетона: учеб. / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 500с.
60. Бердов, В.И. Химия (специальные разделы для направления «Строительство») / Г.И. Бердов [и др.]. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2011. - 187с.
61. Фортъе, А. Механика суспензии / А. Фортъе; пер. с фр. А. Н. Вишнякова, В. М. Гориславец; под ред. канд. техн. наук З. П. Шульмана. – Мир, 1971. – 264с.
62. Афанасьев, Н.Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н.Ф. Афанасьев, М.К. Целуйко. - К.: Будивэльнык, 1989.- 67с.
63. Касторных, Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы. Учебно-справочное пособие / Л.И. Касторных. - изд. 2-е. - Ростов н/Д: Феникс, 2007г. - 221с.
64. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. - М.: Стройиздат, 1989.- 188с.
65. Ваврзин, Ф. Химические добавки в строительстве / Ф. Ваврзин, Р. Крчиа. – М.: Издательство литературы по строительству, 1964. - 144с.
66. Эмульсии / под ред. Ф. Шермана; перевод с англ. под ред. А.А. Абрамзона. - Л.: Химия, 1972.-448с.
67. Евстратова, К.И. Физическая и коллоидная химия / К.И. Евстратова, Н.А. Купина, Е.Е.Малахова. - М.: Высшая школа, 1990.- 487с.
68. Мчедлов-Петросян, О.П. Химия неорганических строительных материалов / О.П. Мчедлов-Петросян. - М.: Стройиздат, 1988.- 304с.
69. Комар, А.Г. Технология производства строительных материалов / А.Г. Комар. - М.: Стройиздат, 1990.- 195с.

70. Лысенко, Е.И. Современные отделочные и облицовочные материалы: учеб.-справ. пособие / Е. И. Лысенко и др. - Ростов н/Д : Феникс, 2003. - 448 с.
71. Малбиев, С. А. Полимеры в строительстве: учеб. пособие / С. А. Малбиев, В. К. Горшков, П. Б. Разговоров. - М.: Высш. шк., 2008. - 456 с.
72. Современные отделочные и облицовочные материалы: учеб.-справ. пособие / Е. И. Лысенко и др. - Ростов н/Д : Феникс, 2003. – 448с.
73. Крокстон, К. Физика жидкого состояния. Статистическое введение / К. Крокстон. - М: Мир, 1978. – 400с.
74. Кац, Е.И. Силы Ван-дер-Ваальса, Казимира и Лифшица в мягкой материи / Е.И. Кац // Успехи Физических Наук. - 2015. - Т.185, №9. – С 964 – 969.
75. Миненко, В.И. Магнитная обработка водно-дисперсных систем / В.И. Миненко. – Техніка, 1970. – 168с.
76. Очков, В.Ф. Магнитная обработка воды: история и современное состояние / В.Ф. Очков // Энергосбережение и водоподготовка. – 2006. - № 2. – С. 23-29.
77. Очков, В.Ф. Вода и магнит / В.Ф. Очков // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2011. - № 10. – С. 36-48.
78. Бережной, А. И. Изменение технологических свойств дисперсий цемент-воды после воздействия магнитного поля / А. И. Бережной, П. Я. Зельцер // Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем, Москва. – 1971. - С. 233-237.
79. Мосин, О.В. Магнитные системы обработки воды. Основные перспективы и направления / О.В. Мосин // Сантехника. – 2011. - № 1. - С. 21-25.
80. Рябчиков, Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Б.Е. Рябчиков. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 328с.

81. Кожевников, С.О. Комбинированная установка для диспергирования и перемешивания жидких сред / С.О. Кожевников, П.П. Гуюмджян, М.В. Лосева, Е.В. Зиновьева // Информационная среда вуза: Материалы XIII Международной научно-технической конференции / Ивановский гос. архит.-строит. ун-т. – Иваново, 2006. – С. 498 – 501.
82. Эйлер, Л. Общие законы движения жидкостей / Л.Эйлер // Известия РАН, сер МЖГ. - 1999, №6.- С. 26-54.
83. Ландау, Л.Д. Механика сплошности сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М.: ГИТТЛ, 1954. – 796с.
84. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости). Учебное пособие для вузов / А.Д. Альтшуль, П.Т. Киселев. - изд. 2 перераб. и доп. М. Стройиздат, 1975. - 323с.
85. Альтшуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика / А. Д. Альтшуль, А. С. Живатовский, Л. П. Иванов. - М.: Стройиздат, 1987. - 416с.
86. Френкель, Н.З. Гидравлика / Н.З. Френкель. – М., Л.: Госэнергоиздат, 1956. - 456с.
87. Лойцянский, Д.Г. Механика жидкости и газа / Д.Г. Лойцянский. - М.: Дрофа, 2003. – 842с.
88. Семенов, В.П. Основы механики жидкости [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.П. Семенов. - М.:ФЛИНТА, 2013.-375с. – Режим доступа: <https://books.google.ru/>.
89. Квасников, И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория неравновесных систем / И.А. Квасников. – М.: Издательство МГУ, 1987. - 559с.
90. Кожевников, С.О. Изменение давления и скорости при движении жидкости через трубку переменного сечения / Кожевников С.О., Е.В. Зиновьева // Ученые записки инженерно-строительного факультета/ Ивановский гос. архит.-строит. ун-т. – Иваново, 2010. – С.70 –73.

91. Молчанов, В.И. Физические и химические свойства тонкодиспергированных минералов / В.И. Молчанов, Т.С. Юсупов. - М.: Недра, 1981. - 161с.
92. Захаров, В.П. Смешение жидких потоков в трубчатых турбулентных аппаратах диффузор-конфузорной конструкции / В.П. Захаров, Р.Г. Тахавутдинов, А.Г. Мухаметзянова и др.// Вестник Башкирского университета. – 2001. - № 3. – С. 28-31.
93. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Книга по требованию, 2012. – 466с.
94. Кайзер, Дж. Статистическая термодинамика неравновесных процессов / Дж. Кайзер. - М: Мир, 1990. - 607с.
95. Климонтович, Ю.Л. Статистическая физика / Ю.Л. Климонтович. - М: «Наука», 1982 г. - 608с.
96. Рейф, Ф. Статистическая физика. (Берклевский курс физики) / Ф. Рейф. - М: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.,1986. – Т. 5. - 336с.
97. Лихтенберг, А. Регулярная и стохастическая динамика / А. Лихтенберг, М. Либерман. - М.: Мир, 1984. - 528с.
98. ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2012. – 12с.
99. ГОСТ 6709-72 Вода дистиллированная. Технические условия. - М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007. – 11с.
100. ГОСТ Р 52465-2005 Масло подсолнечное. Технические условия. - М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007. – 15с.
101. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. - М.: ФГУП «Стандартинформ», 2008. – 6с.
102. Хломберг, К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Хломберг и др.; пер. с англ. к.х.н. Г.П. Ямпольский; под. ред. проф. д.т.н. Б.Д. Сумма. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 530с.
103. Воюцкий, С.С. Курс коллоидной химии / С.С. Воюцкий. – 2-е изд., перераб. и дополненное. – М.: Химия, 1975. – 513с.

104. Тамм, М.Е. Неорганическая химия: Учебник для вузов в 3-х т. Т.1: Физико-химические основы неорганической химии / М.Е. Тамм, Ю.Д. Третьяков; под ред. Ю.Д. Третьякова. - М.: Изд. центр "Академия", 2004. - 240с.
105. Хьюи, Дж. Неорганическая химия. Строение вещества и реакционная способность. Учебник для вузов / Дж. Хьюи; перевод с англ. под ред. Б.Д. Степина и Р.А.Лидина. - М.: Химия, 1987. - 696с.
106. Ганкин, В. Ю. Г. Общая химия. XXI век: 2-уровневое учеб. пос.: пер. с англ. / В.Ю. Ганкин, Ю.В. Ганкин. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2011. – 328с.
107. Ремсден, Э.Н. Начала современной химии: справ. изд / Э.Н. Ремсден.- Л.: Химия, 1989.- 784с.
108. Пиментел, Дж. Водородная связь / Дж. Пиментел, О. Мак-Клеллан. - М.: Мир, 1964. - 462с.
109. Barbiellini V. Shukla A. Phys.Rev. B66, 235101, 2002
110. Эйзенберг, Д. Структура и свойства воды / Д. Эйзенберг, В. Кауцман. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 280с.
111. Стебновский, С.В. Динамооптический эффект в гомогенных ньютоновских жидкостях / С.В. Стебновский // Журнал технической физики. – 2002. – Т. 72, № 11. - С.24-27.
112. Введенков, А.А. Физика растворов / А.А. Введенков. - М.: Наука, 1984.- 112с.
113. Зиновьева, Е.В. Особенности механоактивационных процессов в дистиллированной воде / Е.В.Зиновьева // Разработка машин и агрегатов, исследование тепломассообменных процессов в технологиях производства и эксплуатации строительных материалов и изделий: сб. науч. тр. по материалам круглого стола, посвященного науч. шк. акад. РААСН, д-ра техн. наук, проф. С.В. Федосова / Иван. гос. политехн. ун-т. - Иваново: ПресСто, 2013.- С. 128-131.
114. Федосов, С.В. Особенности механической активации дистиллированной воды различными насадками роторной мешалки / С.В.

- Федосов, М.В. Акулова, Е.В.Зиновьева // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2016. - № 1(361). – С153-157.
115. Эмануэль, Н.М. Курс химической кинетики / Н.М. Эммануэль, Д.Г. Кнорре. - М.: Высшая школа, 1984.- 463с.
116. Энтелис, С.Г. Кинетика реакций в жидкой фазе. Количественный учет влияния среды / С.Г. Энтелис, Г.П. Тигер. - М.: Химия, 1973.- 416с.
117. Зиновьева, Е.В. Изменение рН активированной воды с течением времени / Е.В.Зиновьева // Пятая научная конференция аспирантов и соискателей. Материалы конференции / Ивановский гос. архит.-строит. ун-т. – Иваново, 2007. – С.13-14.
118. Лосева, М.В. Пути повышения долговечности технологических жидкостей / М.В. Лосева, П.П. Гуюмджян, Е.В. Зиновьева // Информационная среда вуза: Материалы XIII Международной научно-технической конференции / Ивановский гос. архит.-строит. ун-т. – Иваново, 2006. – С. 504 – 507.
119. Зиновьева, Е.В. Термодинамические особенности устойчивости ионных структур в механоактивированной воде / Е.В. Зиновьева // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX - 2015): сборник материалов XVIII международного научно-практического форума (26-29 мая 2015 года). – Иваново: ИВГПУ, 2015. – С. 279-282.
120. Пригожин, И. Введение в термодинамику необратимых процессов / И. Пригожин. - М: Иностранная литература, 1960. - 127с.
121. Воробьев, В.А. Строительные материалы / В.А. Воробьев, А.Г. Комар.- М.: «Стройиздат», 1971. – 496с.
122. Бобров, Ю.Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции. Учебник для средних профессионально-технических учебных заведений / Ю.Л. Бобров [и др.].- М.: "ИНФРА-М", 2003. – 286с.

123. Технология строительного производства / под ред. О.О. Литвинова, Ю.И. Белякова. – К.: Вища шк., Головное издательство, 1984. - 479с.
124. Швонец, В.Н. Аппараты с перемешивающими устройствами / В.Н. Швонец, В.Н. Зайцев. - Кемерово: КТИПП, 1993. – 135с.
125. Руководящий нормативный документ. РД 26-01-90-85: Механические перемешивающие устройства, метод расчета. – Введ. с 01.01.1986. - Л.: РТП ЛенНИИХимМаша, 1985. – 257с.
126. ГОСТ 20680-2002. Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия. – Минск: ИПК издательство стандартов, 2002. – 18с.
127. Федосов, С.В. Влияние различных типов перемешивающих устройств на дисперсионный состав и свойства эмульсий / С.В. Федосов, М.В. Акулова, Е.В. Зиновьева // Приволжский научный журнал. – 2013. - №4.- С. 79-84.
128. Гельфман, М.И. Коллоидная химия: учебник для вузов / М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.П. Юстратов; под. Ред. О.П. Панайотти. – СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 336с.
129. Ребиндер, П.А. К теории эмульсий / П.А. Ребиндер // Коллоидный журнал, 1946. - № 3. – С. 157-172.
130. Ребиндер, П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия: Избранные труды / П.А. Ребиндер. - М.: Наука, 1978. – 365с.
131. Анпилов, С.Н. Опалубочные системы для монолитного строительства. / С.Н. Анпилов. – М.: Издательство ассоциации строительных вузов, 2005. – 280 с.
132. Шатов, А.Н. Смазки для форм и опалубки: правильный выбор для повышения конкурентоспособности в строительстве / А.Н. Шатов // Технологии бетонов, 2013. - №9. – С. 12-15.

133. Евдокимов, А.Ю. Смазочные материалы и проблемы экологии / А.Ю. Евдокимов и др. – М.: Нефть и газ РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2000. – 424с.
134. Процишин, В.Т. Смазочные материалы для смазывания форм при изготовлении железобетонных изделий / В.Т. Процишин, М.А. Нырков // Мир нефтепродуктов, 2004. - №1. – С.17.
135. Федосов, С.В. Использование перемешивания для повышения микробиологической устойчивости эмульсий / С.В. Федосов, М.В. Акулова, Е.В. Зиновьева // Информационная среда вуза: Материалы XX Международной научно-технической конференции / Ивановский гос. политех. ун-т. – Иваново, 2013. – С. 784-786.
136. Гуюмджян, П.П. Накопление и диссипация энергии при механической обработке дисперсных систем / П.П. Гуюмджян, Е.В. Зиновьева // Информационная среда вуза: Материалы XVI Международной научно-технической конференции / Ивановский гос. архит.-строит. ун-т. – Иваново, 2009. – С.470-472.
137. Парселл, Э Электричество и магнетизм (Берклевский курс физики) / Э. Парселл. – М.: Наука, 1983. – Т.2. – 416с.
138. Киселев, А.В. Межмолекулярные взаимодействия в адсорбции и хроматографии / А.В. Киселев. – М.: Высшая школа, 1986. – 360с.
139. Сидоров, Е.А. Физика и химия кавитации / Е.А. Сидоров, Р.Н. Галиахметов, М.А. Ильчанов. – М.: Наука, 2008. – 228с.
140. Бесов, А.С. Об аналогии начальной стадии разрушения твердых тел и жидкостей при импульсном нагружении / А.С. Бесов, В.К. Кедринский, Н.Ф. Морозов и др. // Докл. Акад. Наук, 2001. - Т.378, N 3. - С.235-238.
141. Чебаевский, Н.Ф. Кавитационные характеристики высокооборотных шнекоцентробежных насосов / Н.Ф. Чебаевский, В.И. Петров - М.: Машиностроение, 1973. - 152с.

142. Груздков, А.А. Кавитационное разрушение жидкостей с большой и малой вязкостью / А.А. Груздков, Ю.В. Петров // Журнал технической физики, 2008. – Т. 78, вып. 3. - С.6-10.
143. Гуюмджян, П.П. Интенсификация процесса диспергирования парафина при перемешивании / П.П. Гуюмджян, Е.В. Зиновьева // Информационная среда вуза: Материалы XVII Международной научно-технической конференции / Ивановский гос. архит.-строит. ун-т. – Иваново, 2010. – С.589-592.
144. Зиновьева, Е.В. Структурно-физические модификации в процессе диспергирования парафина в водной среде / Е.В. Зиновьева, С.В. Федосов, М.В. Акулова // Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК – 2015). Ч.2. – Иваново: ИВГПУ, 2015. – С. 249-251.
145. Федосов, С.В. Влияние механоактивации на структурную модификацию полимерно-неорганических водных композиций /С.В.Федосов, М.В.Акулова, Е.В.Зиновьева // Известия высших учебных заведений, Технология текстильной промышленности 2014, №6(354). –С. 130-133.
146. Переверзев, А.И. Производство парафинов / А.И. Переверзев. - М.: Химия, 1973. – 224с.
147. Лебедев, Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза / Н.Н. Лебедев. - М.: Химия, 1988. – 592с.
148. Зиновьева, Е.В. Влияние механоактивации на структурные свойства перемешиваемого цементного теста / Зиновьева Е.В., Федосов С.В., Акулова М.В. // Вестник гражданских инженеров. – 2015. - №3(50). - С.159-162.
149. Клейтон, В. Эмульсии. Их теория и практические применения / Клейтон В. – М.: Издательство иностранной литературы, 1950. – 680с.

ПРИЛОЖЕНИЯ**Приложение 1**

Иллюстрация процесса диспергирования парафина



«Утверждаю»

Генеральный директор
ООО «Кварц-Строй»
В.Н. Васильев

10 2014 г

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

о возможности использования насадки конфузор-диффузор для роторного перемешивающего устройства

На основании результатов лабораторных исследований по получению агрегативно-устойчивых суспензий роторной мешалкой с насадкой конфузор-диффузор, учитывая высокую эффективность процесса механоактивации, сочетающуюся с простотой и низкой металлоемкостью конструкции насадки были проведены организационно-технические мероприятия по использованию насадки конфузор-диффузор роторного перемешивающего устройства для получения бентонитовой смеси для наклонно-направленного бурения.

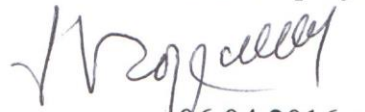
Результаты испытаний показали, что насадка конфузор-диффузор может использоваться в технологических процессах приготовления бентонитовых смесей для наклонно-направленного бурения.

Инженер ПТО

А.В. Никитин

«Утверждаю»

Главный инженер
ЗАО «Железобетон»
В.В. Коршунов


06.04.2016 г

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

о возможности использования насадки конфузор-диффузор для роторного перемешивающего устройства

На основании результатов экспертизы представленной документации и результатов лабораторных исследований насадка конфузор-диффузор для роторного перемешивающего устройства соответствует нормам и может использоваться в технологических процессах строительного производства.

Главный инженер ЗАО «Железобетон»


В.В. Коршунов

Главный технолог ЗАО «Железобетон»


А.В. Степанов



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
К.Э.Н., доцент

В.В. Шутенко

2016г.



АКТ

О внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы

Зиновьевой Екатерины Витальевны на тему:

«Влияние процессов механоактивации на структурно-физическую модификацию и стабилизацию водных суспензий и смазочных эмульсий»

Настоящим актом удостоверяется, что результаты диссертационной работы Зиновьевой Екатерины Витальевны на тему «Влияние процессов механоактивации на структурно-физическую модификацию и стабилизацию водных суспензий и смазочных эмульсий» внедрены в учебный процесс на кафедре «Строительное материаловедение, специальные технологии и технологические комплексы» Инженерно-строительного института ИВГПУ и используются:

- При подготовке магистров по направлению 08.04.01 «Строительство» по магистерской программе «Технология строительных материалов, изделий и конструкций»;

- При выполнении студенческих научных работ.

Зав. кафедрой СМСТиТК
д.т.н., профессор

М.В.Акулова