

*На правах рукописи*

**СУБОЧЕВА Мария Юрьевна**

**КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ОТМЫВКИ  
ВОДОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ ИЗ ПАСТ ОРГАНИЧЕСКИХ  
ПИГМЕНТОВ ВОДОЙ РАЗЛИЧНОЙ КЛАСТЕРНОЙ  
СТРУКТУРЫ С ВВЕДЕНИЕМ НАНОМАТЕРИАЛОВ**

05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Тамбов 2011

Работа выполнена на кафедре «Химические технологии органических веществ» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ГОУ ВПО ТГТУ).

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор <b><i>Леонтьева Альбина Ивановна</i></b>
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор <b><i>Ткачев Алексей Григорьевич,</i></b> кандидат технических наук <b><i>Фефелов Петр Александрович</i></b>
Ведущая организация	Научно-исследовательский институт химикатов для полимерных материалов (ОАО «НИИхимполимер»), г. Тамбов

Защита состоится «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.260.02 при ГОУ ВПО ТГТУ по адресу: 392020, г. Тамбов, ул. Ленинградская, 1, ауд. 60.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный гербовой печатью, просим направлять по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, ГОУ ВПО ТГТУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.260.02.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ГОУ ВПО ТГТУ, с авторефератом диссертации дополнительно на официальном сайте ГОУ ВПО ТГТУ: <http://www.tstu.ru>.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

***В.М. Нечаев***

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** В связи с жесткой конкурентной борьбой на мировом рынке производителей азокрасителей и красителей получение продуктов, обладающих определенным набором качественных характеристик (колористическая концентрация (относительная красящая способность)), цвет, интенсивность, укрывистость, прозрачность, блеск, чистота, оттенок и т.д.), является первоочередным.

Основным показателем выпускных форм пигментов и красителей является колористическая концентрация (относительная красящая способность).

Красящие свойства органических пигментов в значительной степени зависят от наличия в них водорастворимых примесей, которые представляют собой нейтральные электролиты, чаще всего – раствор поваренной соли. Примеси могут образовываться в результате синтеза (реакции диазотирования и азосочетания, побочные) и поступать с исходным сырьем.

Присутствие даже незначительного количества поваренной соли в готовом продукте, органических пигментах ухудшает их качественные показатели (в частности колористическую концентрацию). Поэтому разработка способа, повышающего удаление водорастворимых примесей из паст пигментов и красителей, представляет теоретический интерес и имеет большое практическое значение.

Рациональная отмывка с использованием вод разной кластерной структуры позволяет решить задачу повышения колористической концентрации пигментов.

Работа выполнялась в рамках Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009 – 2010 годы)» (код 2.1.2.309, 2.1.2.1648), Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2012 гг.» (государственный контракт № 02.513.11.3377 от 26 ноября 2007 г.) и программы «У.М.Н.И.К.» (проект № 10155 от 01.02. 2010 г. НИОКР по теме № 1).

**Цель работы и задачи исследования.** Целью диссертационной работы являлось исследование кинетики процесса удаления водорастворимых солей из паст азокрасителей методом декантации, повышение их колористической концентрации на стадии отмывки водами различной кластерной структуры и наноструктурированных материалов на примере пигмента Оранжевого Ж, создание физической модели процесса удаления водорастворимых солей с поверхности частицы пигмента на основе мицеллярной структуры двойного электрического слоя, разработка математического описания процесса удаления водорастворимых солей из паст пигментов методом декантации, позволяющего определить количество циклов промывки, концентрацию водорастворимых солей после каждой стадии отмывки, количество растворителя на завершающей стадии промывки.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

- определены физико-химические свойства растворителя (плотность, поверхностное натяжение, электрическая проводимость);
- изучено влияние температуры на электрическую проводимость растворителя;
- определена растворимость солей (на примере хлорида натрия NaCl) в растворителе в зависимости от кластерной структуры воды и наноматериалов;

- подобран растворитель, имеющий максимальный эффект удаления солей (NaCl) из паст азопигментов;
- исследована кинетика процесса удаления водорастворимых солей из паст азопигментов методом декантации;
- предложена физическая модель процесса удаления водорастворимых солей с поверхности частиц органических пигментов;
- разработано математическое описание процесса удаления водорастворимых солей из паст органических пигментов методом декантационной отмывки на основе учета двойного электрического слоя;
- проведена идентификация и оценка адекватности предложенного математического описания реальному процессу;
- на основе математического описания процесса декантационной отмывки предложена инженерная методика, позволяющая определить количество циклов для достижения заданной концентрации водорастворимых примесей в пасте пигмента, время осаждения частиц пигмента при отстаивании, время перемешивания суспензии, количество циклов промывки и количество растворителя на завершающей стадии промывки паст азопигмента.

#### **Научная новизна работы:**

- установлено влияние вод различной кластерной структуры и наноматериалов на эффективность удаления водорастворимых солей из паст пигмента;
- исследовано влияние материалов в наноструктурированной форме (Cu, Fe, Ni, с размерами частиц менее 100 нм), вводимых в растворитель, на повышение колористических показателей органических пигментов. Увеличение составляет 21...57% по сравнению со стандартным образцом;
- предложена физическая модель образования мицелл пигмента в дисперсной фазе с окружающими их потенциалопределяющими ионами хлора  $\text{Cl}^-$  и ионами  $\text{Na}^+$ . Подтверждена применимость предложенной физической модели, основанной на рассмотрении двойного электрического слоя, для математического описания процесса удаления водорастворимых солей из паст органических пигментов методом декантации с отстаиванием при варьировании количества подаваемых промывных вод на каждом цикле отмывки, которые образуют адсорбционный и диффузионный слои;
- разработано математическое описание процесса удаления водорастворимых солей из суспензии органических пигментов методом декантации для системы пространственно разделенных зарядов на границе раздела фаз (пигмент-раствор), представляющей собой двойной электрический слой.

#### **Практическая ценность:**

- получены зависимости скорости осаждения частиц пигмента оранжевого Ж от кластерной структуры растворителя (талая артезианская вода; артезианская вода, пропущенная через УСВР; артезианская вода) и материалов в наноструктурированной форме (Fe, Ni, Cu), позволяющие рекомендовать для использования в качестве растворителя артезианскую воду, пропущенную через УСВР при введении нанометалла Fe;
- установлена эффективность использования структурированного растворителя и нанометаллов в сравнении с применением артезианской воды на стадии удаления водорастворимых солей для увеличения колористической концентрации органического пигмента, составившей 159%.
- предложенный метод удаления водорастворимых солей из паст азопигментов позволяет использовать отработанные промывные воды с третьей стадии процесса декантации повторно, что ведет к сокращению количества потребляемой

воды в 4 раза по сравнению с промывкой на фильтрах до заданной концентрации водорастворимых солей в пасте пигмента, что позволяет снизить потребление промывной воды в 1,47 раза, затраты на электроэнергию в 2,7 раза;

- определены значения колористической концентрации азопигмента. При использовании структурированной воды их увеличение составило 5,3...5,8% в сравнении со стандартным образцом при отмывке паст азопигментов водами различной кластерной структуры;

- разработана инженерная методика расчета процесса удаления водорастворимых солей из паст органических пигментов методом декантации с отстаиванием, позволяющая определить количество циклов промывки, конечную концентрацию водорастворимых солей в пасте, время отстаивания частиц пигмента, время перемешивания суспензии пигмента, количество циклов промывок и количество растворителя на завершающей стадии промывки пигмента;

- даны практические рекомендации по организации и совершенствованию стадии промывки пигментов, заключающиеся в репульпировании концентрированной суспензии водой, содержащей наноструктурированные материалы (необходимая концентрация по водорастворимым примесям достигается за 4 цикла), и принятые к внедрению на всех производствах азопигментов и продуктов, получение которых сопровождается наработкой водорастворимых солей, в ОАО «Пигмент». Экономический эффект предложенной технологии 2 300 000 р./год.

**Апробация работы.** Основные результаты и положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: международных научно-практических конференциях «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (Санкт-Петербург, 2006, 2007, 2008 гг.), «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностойкая обработка материалов)» (Москва–Тамбов, 2008 г.), «Вода – источник жизни» (Павлодар, Казахстан, 2009 г.), «Инновационная экономика и промышленная политика региона (ЭКОПРОМ-2009)» (Санкт-Петербург, 2009 г.), «Наука на рубеже тысячелетий» (Тамбов, 2009 г.), «Современные направления теоретических и прикладных исследований» (Одесса, 2010 г.); международных конференций «Химическая технология» (Москва, 2007 г.); международных научных конференциях «Математические методы в технике и технологиях» (Саратов, 2008 г.; Псков, 2009 г.; Саратов, 2010 г.), «Современные проблемы информатизации в системах моделирования, программирования и телекоммуникациях» (Москва, 2009 г.); международной научно-технической конференции «Инновационные исследования в сфере критических технологий» (Белгород, 2007 г.); всероссийской (с международным участием) заочной научно-практической конференции «Актуальные проблемы естественных наук» (Тамбов, 2009 г.); международной заочной научно-практической конференции «Актуальные проблемы естественных наук» (Тамбов, 2010 г.); всероссийской зимней школе-семинаре аспирантов и молодых ученых (с международным участием) «Актуальные проблемы науки и техники» (Уфа, 2010 г.); всероссийском научно-инновационном конкурсе «Разработка инновационных технологий получения наноразмерных структур органических веществ» по направлению «Химия, новые материалы, химические технологии», аккредитованном по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса (У.М.Н.И.К.), 2009» (Дагестанский государственный технический университет, Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, г. Махачкала, 2009 г.); конкурсе научно-исследовательских работ аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений в области энерго-

сбережения в промышленности «ЭВРИКА-2010» (Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), г. Новочеркасск, 2010 г.); научной студенческой конференции ассоциации «Объединенный университет им. В.И. Вернадского» «Проблемы ноосферной безопасности и устойчивого развития» (Тамбов, 2010 г.); всероссийских научно-технических конференциях «Приоритетные направления развития науки и технологий» (Тула, 2010 г.), «Проблемы международной интеграции национальных образовательных стандартов» (Париж – Лондон, 23 апреля – 1 мая 2010 г.), «Современные проблемы информатизации в системах моделирования, программирования и телекоммуникациях» (заочная электронная конференция, 15 – 20 октября 2009 г.).

Материалы по теме диссертации и команда магистрантов и аспирантов, возглавляемая старшим преподавателем кафедры «Химические технологии органических веществ» Субочевой М.Ю., были отмечены: дипломом победителя и сертификатом участника финального тура на смотре-конкурсе научно-исследовательских работ аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений в области энергосбережения в промышленности «ЭВРИКА-2010» в 2010 г.; дипломом победителя (1-е место) и признанием победителем Всероссийского научно-инновационного конкурса «Разработка инновационных технологий получения наноразмерных структур органических веществ» по направлению «Химия, новые материалы, химические технологии», аккредитованные по программе «У.М.Н.И.К.» в 2009 г.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 30 печатных работ, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, и пять учебных пособий.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти основных глав и заключения, списка используемых источников и приложений. Диссертация содержит 209 страниц машинописного текста, в том числе 49 рисунков и 15 таблиц, список использованных источников включает 303 наименования отечественных и зарубежных авторов.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований. Обозначены научная новизна и практическая ценность результатов работы.

**В первой главе рассмотрены** подходы к решению задачи улучшения характеристик органических пигментов, определяющих качественные показатели; физические характеристики азокпигментов, влияющие на показатель колористической концентрации; методы их определения; анализ процессов удаления водорастворимых солей из паст азокпигментов с позиции повышения их колористической концентрации; факторы, влияющие на эффективность удаления водорастворимых солей: физико-химические свойства растворимых солей и растворителя, наночастиц, технологические параметры процесса растворения (температура, кислотность среды); методы математического моделирования для исследования процесса отмычки паст органических пигментов методом декантации и их аппаратурное оформление.

По результатам анализа литературных источников были сделаны выводы, сформированы задачи теоретических и экспериментальных исследований.

**Вторая глава** посвящена определению физико-химических свойств растворителя соли NaCl (плотность, поверхностное натяжение, электрическая проводимость, растворимость), рассмотрен подход к формированию растворителя с максимальной растворимостью соли, показано влияние структуры вод и наноматериалов на данные показатели.

Объектом исследования являлся растворитель, представляющий собой воды различных кластерных структур (дистиллированная вода; талая дистиллированная вода; дистиллированная вода, пропущенная через углеродную смесь высокой реакционной способности (УСВР – углеродный порошок с размерами частиц менее 40 мкм, состоящий из нанотрубок, свободных радикалов и радикалов в виде гексагоналов; изготовитель ООО «Холдинг Золотая Формула»); артезианская вода; талая артезианская; артезианская вода, пропущенная через УСВР). Кластерная структура воды – возможность молекул воды соединяться между собой в устойчивые ассоциаты. В качестве исходного образца использовался дистиллят. Формирование и изменение структуры воды обеспечивалось замораживанием, воздействием наноуглеродными материалами.

Задачами экспериментальных исследований являлись: определение физико-химических свойств растворителя в зависимости от его кластерной структуры и наноматериалов; изучение влияния температуры на электрическую проводимость растворителя различной кластерной структуры без наличия и с присутствием материалов в наноструктурированной форме; определение растворимости солей (на примере хлорида натрия NaCl). Физико-химические свойства растворителя определялись при температуре 20 °С в зависимости от кластерной структуры вод и наноматериалов (табл. 1). В качестве наноматериалов использовали металлы 1 и 8 групп Периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева: Cu, Fe, Ni.

Плотность и величина показателя поверхностного натяжения выше у вод, прошедших деструктуризацию. Все полученные показатели отличаются от исходного образца – дистиллированной воды. Показатель электрической проводимости вод меняется с изменением их кластерной структуры и наличия в них наноматериалов. Наблюдается увеличение показателя электрической проводимости по сравнению с эталонным образцом – дистиллированной водой, в 2,1 раза. Рост электрической проводимости в присутствии Cu возрастает в 2,9 раза, в присутствии Fe – для талой дистиллированной воды в 1,03 раз, для дистиллированной воды, пропущенной через УСВР, наблюдается уменьшение показателя в 1,14 раз, в присутствии Ni – наблюдается увеличение в 4,9 раз.

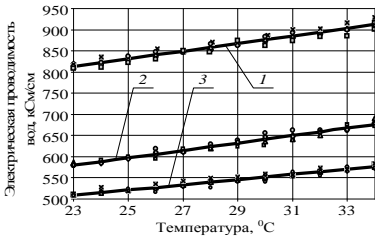
### 1. Физико-химические показатели вод разной структуры

Измеримый показатель	Тип структуры воды			
	Артезианская вода	Дистиллированная вода	Талая дистиллированная вода	Дистиллированная вода, пропущенная через УСВР
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,9982	1,0000	0,9765	0,9783
Поверхностное натяжение, Дж/м <sup>2</sup>	0,0729	0,0727	0,0759	0,0760
Электрическая проводимость вод, мкСм/см	без материала	727	5,25	8,79
	Cu	732	13,1	36,2
	Fe	730	34,5	35,4
	Ni	734	9,63	36,4

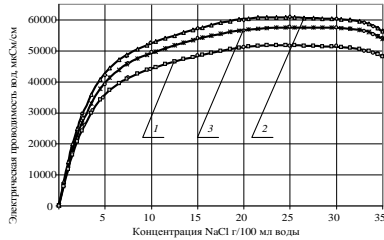
Экспериментальные исследования по оценке влияния температуры (в диапазоне от 23 до 33 °С) на электрическую проводимость вод различной кластерной структуры проводились для: талой артезианской воды; артезианской воды, пропущенной через UCSBP; артезианской воды (рис. 1). С ростом температуры происходит линейный рост проводимости, как артезианской воды, так и вод, подвергшихся структуризации. Чем меньше электропроводимость вод, тем больше рост данного показателя при увеличении температуры.

Определена растворимость солей (на примере NaCl) в растворителе в зависимости от его кластерной структуры и материалов в наноструктурированной форме (табл. 2). Растворимость соли NaCl различна в водах с разной кластерной структурой и наблюдается уменьшение данного показателя по сравнению с эталонным образцом – дистиллированной водой. Растворимость соли NaCl в водах с различной кластерной структурой, в присутствии материалов в наноструктурированной форме повышается по сравнению с эталонным образцом и имеет самые высокие показатели для дистиллированной воды, пропущенной через UCSBP в присутствии наноNi.

Зависимость электрической проводимости вод различной кластерной структуры от концентрации электролита – NaCl характеризуется наличием максимума (рис. 2). Такой характер кривых наблюдается и при введении нано-



**Рис. 1. Электрическая проводимость вод различной кластерной структуры при различных температурах:**  
 1 – артезианская вода; 2 – артезианская вода, пропущенная через UCSBP;  
 3 – талая артезианская вода



**Рис. 2. Зависимость электрической проводимости вод различной кластерной структуры от количества соли (NaCl), вводимой в растворитель:**  
 1 – дистиллированная вода; 2 – талая дистиллированная вода;  
 3 – дистиллированная вода, пропущенная через UCSBP

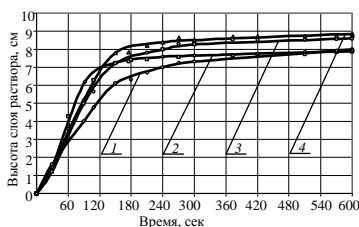
## 2. Растворимость солей в воде разной структуры (20 °С)

Измеримый показатель	Тип структуры воды			
	Артезианская вода	Дистиллированная вода	Талая дистиллированная вода	Дистиллированная вода, пропущенная через UCSBP
Содержание NaCl (г) на 100 мл H <sub>2</sub> O	0,00635	0,00011	0,00018	0,00021
Концентрация NaCl г/100 мл H <sub>2</sub> O	30,4	35,2	35,0	34,9



материалов. Максимальная растворимость NaCl получена для дистиллированной воды, пропущенной через УСВР, и при введении нанометалла Ni.

**В третьей главе** приведены результаты исследования кинетики процесса удаления водорастворимых солей из органических пигментов.



**Рис. 3. Кинетические зависимости процесса разделения суспензии пигмента оранжевого Ж при использовании в качестве растворителя артезианской воды:**

1 – с наноCu; 2 – без наноMe;  
3 – с наноNi; 4 – с наноFe

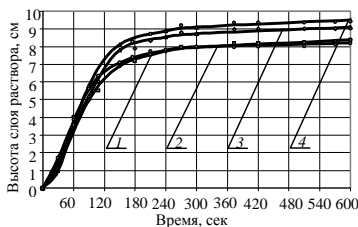
Экспериментальные исследования процесса удаления водорастворимых солей проводили на пастах пигмента оранжевого Ж (pigment orange 13 № 21110). И в виду того, что в промышленности, в основном, используется артезианская вода, исследования проводились с ее использованием.

Для удаления водорастворимых примесей из пасты пигмента был использован метод декантации.

В задачу исследований входило: изучить влияние наноматериалов на эффективность удаления водорастворимых солей из пасты готового продукта; исследовать влияние структурированной воды и наноматериалов на колористические характеристики пигмента на стадии удаления водорастворимых солей из пасты пигмента; определить влияние наноматериалов на конечную влажность пасты пигмента оранжевого Ж.

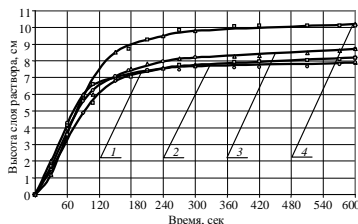
Изучение кинетики процесса удаления водорастворимых солей из паст азопигментов проводили, определяя скорость осаждения частиц пигмента оранжевого Ж в зависимости от плотности частиц и конечной влажности пасты пигмента. Замеряли скорость осаждения частиц и влажность пасты в зависимости от структуры растворителя и наноматериалов (Fe, Ni, Cu).

Для измерения скорости осаждения частиц пигмента оранжевого Ж была изготовлена экспериментальная установка. Пасту азопигмента анализировали



**Рис. 4. Кинетические зависимости процесса разделения суспензии пигмента оранжевого Ж при использовании в качестве растворителя артезианской воды, пропущенной через УСВР:**

1 – без наноMe; 2 – с наноNi;  
3 – с наноCu; 4 – с наноFe



**Рис. 5. Кинетические зависимости процесса разделения суспензии пигмента оранжевого Ж при использовании в качестве растворителя талой артезианской воды:**

1 – без наноMe; 2 – с наноNi;  
3 – с наноCu; 4 – с наноFe

на влажность на галогенном анализаторе влажности HG 53 (Halogen Moisture Analyzer) фирмы METTLER TOLEDO.

Результаты экспериментальных исследований по оценке влияния структуры растворителя на кинетику процесса осаждения частиц пигмента оранжевого Ж показали, что максимальная скорость разделения суспензии наблюдается при использовании в качестве растворителя артезианской воды, пропущенной через UCSBP.

Результаты оценки влияния нанометаллов на кинетику процесса осаждения частиц пигмента оранжевого Ж представлены на рис. 3 – 5. Максимальная скорость разделения суспензии пигмента оранжевого достигается при использовании нанометалла Fe и в качестве растворителя артезианской воды, пропущенной через UCSBP.

Влажность пасты пигмента, получаемой после удаления водорастворимых солей, зависит от кластерной структуры растворителя. Минимальная влажность и максимальная концентрация пасты пигмента имеют место при использовании артезианской воды, пропущенной через UCSBP, и наноникеля (Ni).

Исследования по оценке влияния кластерной структуры воды на эффективность удаления водорастворимых солей из паст органических пигментов велись на основе применения вод следующих структур: талая артезианская вода; артезианская вода, пропущенная через UCSBP; артезианская вода. Предельное содержание водорастворимых солей в готовом продукте не более 0,03 мас. %.

Анализ полученных результатов по оценке эффективности промывки пасты пигментов по изменению концентрации водорастворимых примесей в слое осадка указывает на то, что после двух первых промывок концентрация соли в декантате оказывается выше при использовании структурированных вод, максимальный эффект наблюдается у артезианской воды, пропущенной через UCSBP (табл. 3).

### 3. Влияние нанометаллов в промывной воде на концентрацию соли в пасте пигмента

Кол-во отмывок	Тип структуры воды							
	Артези- анская вода	Артезианская вода, пропущенная через УСВР						
		без нано	Au	Ag	Cu	Ni	Fe	Ni/Cr
		Содержание солей, мас. %, в промывной воде						
Исходный фильтрат	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
1	0,42	0,46	0,52	0,53	0,55	0,62	0,53	0,50
2	0,16	0,18	0,10	0,08	0,09	0,09	0,09	0,07
3	0,08	0,08	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
4	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03

На основе результатов, полученных с помощью экспериментальных исследований, в дальнейшем использовали растворитель, который показал максимальную растворимость солей – артезианскую воду, пропущенную через UCSBP. Применение структурированной воды с введенными нанометаллами позволяет значительно уменьшить число промывок для достижения необходимого содержания водорастворимых солей в пасте азокрасителя по сравнению с обычной водой (три промывки вместо пяти-шести).

Инструментальная оценка колористической концентрации в разбеле проводилась на цветоизмерительном комплексе типа «Макбет» с помощью про-

граммного обеспечения «OPTVIEW LITE». Оценка печатных оттисков проводили на спектроколориметре «Макбет» Color Eye 7000A.

Применение вод различной кластерной структуры на стадии удаления водорастворимых примесей методом декантации позволяет повысить колористическую концентрацию готового продукта (табл. 4). Наибольшая колористическая концентрация наблюдается в случае применения артезианской воды, пропущенной через УСВР – 105,8%.

#### 4. Качественные показатели пигмента оранжевого Ж

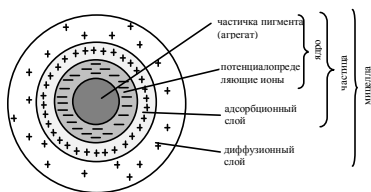
Технология промывки		Инструментальная оценка в разбеле					
		$\Delta E$	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta C$	$I, \%$
Традиционная технология		0,33	–0,24	–0,19	–0,13	–0,23	101,4
Шестикратная промывка артезианской водой		1,00	0,60	–0,71	–0,35	–0,75	103,4
Шестикратная промывка артезианской водой, пропущенной через УСВР		0,87	–0,4	0,25	0,73	0,69	105,8
Шестикратная промывка артезианской водой, пропущенной через УСВР	Au	2,38	0,18	1,18	2,06	2,29	109,30
	Ag	4,40	0,77	2,34	3,64	4,21	121,40
	Cu	3,69	0,45	2,02	3,02	3,58	115,94
	Ni	10,09	–1,77	5,30	8,30	9,60	157,00
	Fe	10,12	1,95	5,34	8,37	9,64	159,00
Ni/Cr		3,79	1,07	1,72	3,21	3,46	121,97

Введение в структурированную воду наноматериалов металлов шестой и восьмой групп Периодической системы Д.И. Менделеева повышает эффективность удаления водорастворимых солей из пасты, в результате чего достигается значительное повышение ее колористической концентрации. В случае использования Ni и Fe паста пигмента оранжевого Ж содержит наименьшее количество водорастворимой соли (NaCl) и, как следствие, обладает более высокой колористической концентрацией 157 и 159% соответственно.

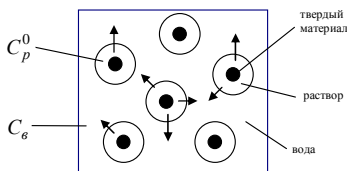
**Четвертая глава** посвящена разработке математического описания процесса удаления водорастворимых солей из паст органических пигментов методом декантации с отстаиванием.

Для разработки математического описания процесса удаления водорастворимых солей из паст азопигментов была предложена физическая модель процесса, основанная на следующем рассмотрении.

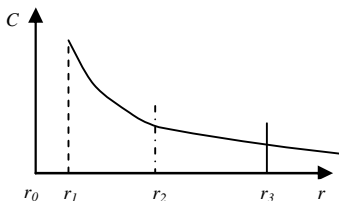
Суспензии пигментов проявляют электрокинетические свойства, которые оказывают влияние на процессы удаления водорастворимых солей. Мелкие частицы пигмента несут на себе электрический заряд относительно окружающей их водной среды, возникающий в результате избирательной адсорбции ионов одного знака. Возникающая система пространственно разделенных зарядов на границе раздела фаз (пигмент – раствор) представляет собой двойной электрический слой. Частица пигмента в дисперсной фазе с окружающим его двойным электрическим слоем представляет собой мицеллу. Ядро мицеллы – пигмент с потенциалопределяющими ионами хлора ( $Cl^-$ ) (рис. 6); адсорбированным слоем, содержащим ионы натрия (Na); дисперсионным слоем, содержащим противоионы водорастворимой соли (NaCl), вокруг.



**Рис. 6. Схема образования двойного электрического слоя вокруг частицы пигмента, находящейся в растворе**

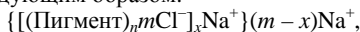


**Рис. 7. Распределение концентрации водорастворимых солей в начальный момент промывки ( $\tau = 0$ )**



**Рис. 8. Зависимость концентрации  $C$  ( $C_p^0$ ) с поверхности твердых частиц в противоионов в двойном электрическом слое от расстояния до границы**

Состав мицеллы можно представить следующим образом:



где  $n$  – число молекул пигмента;  $m$  – число потенциал-определяющих ионов хлора;  $x$  – число ионов натрия в адсорбционном слое.

Диффузия водорастворимой соли

( $C_p^0$ ) с поверхности твердых частиц в растворитель, изменение концентрации противоионов в двойном электрическом слое представлены на рис. 7 и 8.

Математическая модель процесса удаления водорастворимых солей из паст азопигментов позволяет рассчитать количество циклов репульпационной отмывки для достижения заданной концентрации водорастворимых солей в пасте.

При разработке математической модели процесса удаления водорастворимых солей из паст азопигментов методом декантации с отстаиванием приняты следующие допущения: масса водорастворимых солей мала по сравнению с массой воды и твердых частиц; за время цикла (перемешивания с отстаиванием) градиентом концентрации водорастворимой соли в объеме суспензии пренебрегаем; характер зависимости, связывающей равновесные концентрации водорастворимых солей в пасте и растворе, линейный; объем пасты во всех циклах промывки постоянен; пигмент представляет собой шарообразную частицу радиусом  $r_0$ .

Количество водорастворимой соли на поверхности ядра мицеллы

$$V = V_{\text{ад}} + V_{\text{диф}}. \quad (1)$$

В диффузионном слое количество противоионов водорастворимой соли на поверхности частицы в мицелле записывается в следующем виде:

$$V_{\text{диф}} = 4\pi \int_{r_1}^{r_3} C r^2 dr. \quad (2)$$

В адсорбционном слое количество противоионов водорастворимой соли на поверхности ядра в мицелле с учетом максимально возможного количества противоионов

$$V_{\text{ад}} = 4\pi r_0^2 / S_{\text{мол}} \cdot 1 / \left( 1 + 1/C_p e^{\Delta\mu + zF\Phi_0/2(1+e^{-\delta/\lambda})} \right). \quad (3)$$

Количество водорастворимой соли на поверхности ядра мицеллы

$$v = 4\pi C_p \int_{r_0}^{r_0+\lambda} e^{-Fz\Phi/RT} r^2 dr + 4\pi r_0^2 / S_{\text{мол}} \times \\ \times 1 / \left( 1 + 1/C_p e^{\Delta\mu + zF\Phi_0 (1+e^{\delta/\lambda})/2} \right). \quad (4)$$

Количество водорастворимой соли на поверхности частицы пигмента и в растворе исходной суспензии

$$v_c = v_{\text{пиг}} + v_p = N_{\text{ч.п}} v_{\text{ч.п}} + C_p^0 V_{\text{п}} (1 - v_{\text{пиг}}). \quad (5)$$

Полученный слой пасты доводится до объема исходной суспензии добавлением воды в качестве растворителя. При этом количество водорастворимой соли не меняется, объем пасты остается постоянным, объем воды в растворе увеличится на  $(V - V_{\text{п}})$ .

Количество растворителя для разбавления пасты пигмента

$$V_p = (1 - \Phi_{\text{пиг}}) V_{\text{п}} + (V - V_{\text{п}}) = V - v_{\text{пиг}} V_{\text{п}}. \quad (6)$$

Концентрация водорастворимых солей в растворителе (вода) становится равной  $C_p^1$ .

Концентрация водорастворимых солей в растворителе (вода)  $C_p^1$  находится итерационным путем (методом последовательных приближений).

1-е приближение формируется из предположительного разбавления только раствора.

1-й итерационный шаг. Находится концентрация соли в растворе  $C_p^1$  при первом разбавлении исходя из концентрации соли в исходном растворе (декантате)  $C_p^0$  и объемов исходной суспензии  $V$ , м<sup>3</sup>, и пасты  $V_{\text{п}}$ , м<sup>3</sup>:

$$C_p^1 = C_p^0 V_{\text{п}} / V, \quad (7)$$

где  $C_p^i = C_p$  – мольная концентрация солей в растворителе, кмоль/м<sup>3</sup>.

Количество водорастворимых солей на поверхности частиц пигмента

$$v_{\text{пиг}} = N_{\text{ч.п}} v_{\text{ч.п}}. \quad (8)$$

2-й итерационный шаг. Находится концентрация соли в растворе  $C_p^1$  при первом разбавлении исходя из количества водорастворимых солей в суспензии пигмента и на поверхности пигмента при первом разбавлении:

$$C_p^1 = (v_c - v_{\text{пиг}}) / V_p = (v_c - N_{\text{ч.п}} v_{\text{ч.п}}) / (V - v_{\text{пиг}} V_{\text{п}}). \quad (9)$$

Процесс последовательных приближений для уравнений (7) – (9) ведется до достижения разницы между итерациями, когда концентрация водорастворимой соли не превысит заданную величину.

Количество водорастворимой соли на поверхности частицы пигмента и в растворе исходной суспензии при первом разбавлении пасты азопигмента

$$v_c = v_{\text{пиг}} + v_p = N_{\text{ч.п}} v_{\text{ч.п}} + C_p^1 V_{\text{п}} (1 - v_{\text{пиг}}). \quad (10)$$

Расчет повторяется, пока концентрация водорастворимой соли  $C_p^i$  примет значение меньшее либо равное требуемому значению.

**Пятая глава** посвящена разработке инженерной методики расчета процесса удаления водорастворимых солей из паст азопигментов методом декантации с отстаиванием и проверке адекватности предложенной математической модели.

Предложенная инженерная методика позволяет рассчитать: время осаждения частиц пигмента; время перемешивания суспензии пигмента; концентрацию солей в конце предпоследнего цикла декантации; количество циклов промывки; количество растворителя на завершающей стадии промывки.

Скорость и время осаждения частиц пигмента находим исходя из ансамблевой модели и состояния равновесия системы:

$$v_{\text{ос}} = \left( 2(\rho_p - \rho_n) R^2 g (1 - \alpha_n)^2 (1 - 2,5\alpha_n) \right) / \left( 9\mu_p (1 - 1,164\alpha_n^{2/3}) \right); \quad (11)$$

$$\tau_{\text{ос}} = \left( 9V_n Z\mu_p (V/V_n - 1) (1 - 1,164\alpha_n^{2/3}) \right) / \left( 2VR^2 g (\rho_p - \rho_n) (1 - \alpha_n)^2 (1 - 2,5\alpha_n) \right). \quad (12)$$

Время перемешивания суспензии рассчитываем по зависимостям, рекомендованным для лопастной мешалки и гладких аппаратов:

$$\tau_{\text{пер}} = 3,06 \left( \bar{v} \bar{r}_m^2 \left( (D_a/d_m)^2 - \bar{r}_m^2 \right) / q (D_a/d_m)^4 \right); \quad (13)$$

$$n = (d_c/d_m)^{0,5} (D_m/d_m)^k C_1 A \mu_p / \rho_p d_m^2. \quad (14)$$

Концентрация водорастворимых солей в конце предпоследнего цикла декантации

$$C = AC_0 e^{-k(n+1)}. \quad (15)$$

Уравнение для расчета количества циклов промывок, необходимых для достижения заданной конечной концентрации водорастворимой соли в пасте азопигмента ( $A = 3,0826$  и  $k = 1,12$ ):

$$n = (1/k) (\ln(A \cdot C_0 / C_k)) - 1. \quad (16)$$

Предложена диаграмма для определения необходимого количества циклов декантации.

Количество растворителя для достижения заданной концентрации солей в пасте ( $k_1 = -1$ ,  $k_2 = 0,328$ )

$$k_A = k_2 C_k^{k_1} C_0. \quad (17)$$

Проверка адекватности предложенной математической модели процесса удаления водорастворимых солей из паст азопигментов методом декантации с отстаиванием реальному процессу осуществлялась путем сравнения экспериментальных данных, полученных в лабораторных и промышленных условиях, с расчетными. Расхождение составило 5%.

Предложенная технология отмывки паст азопигментов принята к внедрению на всех производствах азопигментов и продуктов, получение которых сопровождается наработкой водорастворимых примесей, в ОАО «Пигмент». Внедрение предложенных технических решений позволило: сократить количество сточных вод в 1,47 раза, снизить затраты на электроэнергию в 2,7 раза, уменьшить себестоимость готового продукта на 0,4% без учета прироста колористической концентрации. Прирост колористической концентрации на 20,5% обеспечивает дополнительное снижение себестоимости на 8...9,5%.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Получены физико-химические характеристики (плотность, поверхностное натяжение, электрическая проводимость) вод с различной кластерной структурой, подтверждающие зависимость данных показателей от структуры воды: плотность вод уменьшается по сравнению с эталонным образцом – дистиллированной водой; поверхностное натяжение выше у вод, прошедших деструктуризацию; наблюдается рост электрической проводимости у вод различной кластерной структурой.

2. Оценено влияние материалов в наноструктурированной форме (Cu, Fe, Ni) на физико-химические характеристики вод с различной кластерной структурой, в частности на электрическую проводимость, и установлено максимальное увеличение данного показателя для дистиллированной воды, пропущенной через УСВР, в присутствии нанометалла (Ni) в 4,95 раз.

3. Изучено влияние температуры растворителя на электрическую проводимость в зависимости от кластерной структуры и вводимых наноматериалов. Наблюдается закономерность, чем меньше электрическая проводимость вод, тем больше рост данного показателя при увеличении температуры. Полученные результаты подтверждают литературные данные о различии электрической проводимости вод с разной кластерной структурой.

4. Определена растворимость солей (на примере хлорида натрия NaCl) в растворителе в зависимости от его кластерной структуры и введенных материалов в наноструктурированной форме. Максимальная растворимость отмечена у дистиллированной воды, пропущенной через УСВР, в присутствии наноматериала Ni, что в 1,16 раза выше, чем у эталонного образца.

5. Исследована кинетика процесса удаления водорастворимых солей из паст азопигментов. Максимальная скорость разделения суспензии пигмента оранжевого Ж наблюдается при использовании в качестве растворителя артезианской воды, пропущенной через УСВР, при введении в суспензию нанометалла Fe.

6. Определено влияние структуры воды и материалов в наноструктурированной форме на конечную влажность пасты пигмента оранжевого Ж, наименьшая влажность характерна для талой воды в присутствии наноNi.

7. Подобран растворитель для удаления водорастворимых солей из паст азопигментов (на примере пигмента оранжевого Ж), обеспечивающий снижение количества промывной воды с одновременным улучшением всех качественных характеристик пигмента – артезианская вода, пропущенная через УСВР. При применении данного растворителя необходимая концентрация по водорастворимым примесям достигается за 4 цикла промывок, что позволяет сократить количество сточных вод в 1,47 раза, снизить расход электроэнергии в 2,7 раз.

8. Исследовано влияние на колористическую концентрацию пигмента структурированной воды и нанометаллов на стадии удаления водорастворимых солей из паст пигмента. Установлено, что удаление координированных ионов с поверхности частиц пигмента повышает селективность светоотражения пигмента оранжевого Ж при использовании в качестве растворителя только структурированной воды максимально на 5,8% (при использовании артезианской воды, пропущенной через УСВР), при введении металлов в наноструктурированной форме этот показатель составляет 20,5 для Cu, 57...59% для Fe и Ni.

9. Предложена физическая модель процесса удаления водорастворимых солей из паст азопигментов, основанная на способности частиц пигмента проявлять электрокинетические свойства и формировать двойной электрический слой.

10. Разработано математическое описание процесса удаления водорастворимых солей из паст органических пигментов методом декантации. Оценена адекватность предложенного математического описания процесса удаления водорастворимых солей из паст азокпигментов, отклонение экспериментальных и расчетных данных составило 5%.

11. Предложена инженерная методика расчета процесса удаления водорастворимых солей из паст азокпигментов методом декантации, позволяющая определить количество циклов отмывки, конечную концентрацию водорастворимых примесей, скорость и время осаждения частиц пигмента при отстаивании, время перемешивания суспензии, количество растворителя для удаления водорастворимых солей из пасты пигмента на последнем цикле промывки.

12. Предложенная технология отмывки паст азокпигментов снижает себестоимость готового продукта на 8,4...9,9%, что соответствует экономическому эффекту 2 300 000 р./год, и принята к внедрению в ОАО «Пигмент» на производствах азокпигментов и продуктов, получение которых сопровождается разработкой водорастворимых солей.

## ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$v$  – количество водорастворимых солей на поверхности ядра мицеллы, кмоль;  $v_{\text{диф}}$  – количество водорастворимых солей в диффузионном слое мицеллы, кмоль;  $v_{\text{ад}}$  – количество водорастворимых солей в адсорбционном слое мицеллы, кмоль;  $C$  – концентрация противоионов в диффузионной области, кмоль/м<sup>3</sup>;  $r$  – расстояние от поверхности частицы пигмента, м;  $r_1$  – граница слоя адсорбции, м;  $r_3$  – граница диффузионного слоя, м;  $r_0$  – радиус ядра мицеллы, м;  $S_{\text{мол}}$  – площадь, занимаемая одним противоионом, м<sup>2</sup>;  $\Delta\mu$  – изменение химического потенциала вещества при переходе из раствора в адсорбционный слой, Дж/моль;  $\phi$  – разность потенциалов в данной точке и в объеме жидкости (на «бесконечном» удалении от поверхности), Дж/Кл;  $\lambda$  – толщина диффузионного слоя, м;  $\delta$  – толщина слоя адсорбции, м;  $F$  – постоянная Фарадея, Кл;  $z$  – заряд ионов;  $v_c$  – общее количество водорастворимых солей в суспензии пигмента, кмоль;  $v_r$  – количество водорастворимых солей в растворе, кмоль;  $v_{\text{пиг}}$  – количество водорастворимых солей во всем объеме пигмента, кмоль;  $v_{\text{ч.п}}$  – количество водорастворимых солей на поверхности одной частички пигмента, кмоль;  $V_{\text{пиг}}$  – объем пасты, м<sup>3</sup>;  $N_{\text{ч.п}}$  – количество частиц пигмента, шт./м<sup>3</sup>;  $v_{\text{пиг}}$  – объемная доля пигмента в пасте;  $V$  – объем исходной суспензии, м<sup>3</sup>;  $V_p$  – объем раствора, м<sup>3</sup>;  $\tau_{\text{пер}}$  – время перемешивания, с;  $r_m$  – безразмерный текущий радиус мешалки, м;  $D_a$  – диаметр аппарата, м;  $d_m$  – диаметр мешалки, м;  $q$  – циркуляция жидкости между зонами;  $k$  – показатель степени для лопастной мешалки;  $C_1$  – коэффициент для лопастной мешалки;  $Ag$  – критерий Архимеда;  $\mu_p$  – динамический коэффициент вязкости растворителя, кг/(м·с);  $n$  – количество циклов отмывки.

**Индексы:**  $i$  – номер промывки;  $p$  – паста;  $r$  – раствор (вода + водорастворимые соли).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПРЕДСТАВЛЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

1. Леонтьева, А.И. Повышение эффективности отмывки паст азокпигментов при использовании структурированной воды и наноматериалов / А.И. Леон-



тьева, М.Ю. Субочева, В.С. Орехов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15, № 3. – С. 581 – 588.

2. Орехов, В.С. Создание растворителя, обеспечивающего максимальное удаление водорастворимых солей из паст органических пигментов в процессе отмывки / В.С. Орехов, М.Ю. Субочева // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2011. – № 1(32). – С. 382 – 385.

3. Леонтьева, А.И. Математическое описание процесса удаления водорастворимых солей из суспензии органических пигментов методом декантации с отстаиванием / А.И. Леонтьева, М.Ю. Субочева, В.С. Орехов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17, № 1. – С. 90 – 95.

4. Субочева, М.Ю. Снижение стоков в производстве органических пигментов / М.Ю. Субочева, Н.С. Главатских // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. – Липецк : Изд-во Липецкого эколого-гуманитарного института, 2008. – № 1–2 (20–21). – С. 25 – 29.

5. Леонтьева, А.И. Повышение эффективности удаления водорастворимых солей из паст азоксипигментов / А.И. Леонтьева, М.Ю. Субочева, В.С. Орехов // В мире научных открытий. – 2009. – № 6. – С. 21 – 28.

6. Субочева, М.Ю. Математическое моделирование процесса удаления водорастворимых солей из суспензии органических пигментов декантацией / М.Ю. Субочева, А.И. Леонтьева, А.А. Дегтярев // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 1. – С. 125 – 128.

7. Subocheva, M.U. mathematical modeling of the process of water - soluble salts withdrawal from pigment organic suspension by decantation / M.U. Subocheva, A.I. Leontjeva, A.A. Degtyarev // European journal of natural history. – 2010. – № 2. – P. 51 – 54.

8. Орехов, В.С. Формирование качественных показателей азоксипигментов на заключительных стадиях их производства / В.С. Орехов, М.Ю. Субочева // Казанская наука. – 2010. – № 8, вып. 1. – С. 162 – 167.

9. Субочева, М.Ю. Применение декантации и растворителя с измененной структурой для удаления водорастворимых примесей из паст азоксипигментов / М.Ю. Субочева, Д.Н. Труфанов, А.В. Куницкий // Приоритетные направления развития науки и технологий : доклады VIII Всерос. науч.-техн. конф. / под общ. ред. Э.М. Соколова. – Тула : Изд-во «Инновационные технологии», 2010. – С. 170 – 174.

10. Технология удаления водорастворимых примесей из суспензий азоксипигментов с использованием наноструктурированных материалов / А.И. Леонтьева, К.В. Брянкин, М.Ю. Субочева, В.С. Орехов // Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование : сборник трудов Пятой междунар. науч.-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». 28 – 30.04.2008, Санкт-Петербург, Россия / под ред. А.П. Кудинова, Г.Г. Матвиенко. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – Т. 12. – С. 234–235.

11. Моделирование процесса удаления водорастворимых примесей из паст азоксипигментов / А.И. Леонтьева, М.А. Колмакова, М.Ю. Субочева, Т.П. Дьячкова // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-21 : сборник трудов XXI Междунар. науч. конф. : в 10 т. / под общ. ред. В.С. Балакирева. – Саратов : Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2008. – Т. 5. Секция 11. – С. 69 – 72.

12. Леонтьева, А.И. Влияние структуры воды и наноматериалов на колористическую концентрацию органических красителей и пигментов / А.И. Леонтьева, В.А. Лебедев, М.Ю. Субочева // Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и тепловые процессы). СЭТТ-2008 : материалы 3-й междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов – М., 2008. – Т. 2. – С. 319 – 321.

13. Методика расчета процесса удаления водорастворимых солей из паст азопигментов / М.А. Колмакова, М.Ю. Субочева, Е.Г. Жохова, Д.В. Васяткин // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-22 : сборник трудов XXII междунар. науч. конф. : в 10 т. / под общ. ред. В.С. Балакирева. – Псков : Изд-во Псков. гос. политехн. ун-та, 2009. – Т. 9. Секция 10. – С. 25 – 27.

14. Субочева, М.Ю. Оценка влияния структуры воды на эффективность удаления водорастворимых солей из паст пигментов / М.Ю. Субочева, Д.Н. Труфанов, А.О. Жигачев // Вода – источник жизни : материалы IV междунар. науч.-практ. конф. – Павлодар : Изд-во Павлодар. гос. пед. ин-та, 2009. – С. 147 – 153.

15. Субочева, М.Ю. Разработка способа отмывки тонкодисперсных паст от водорастворимых солей с использованием структурированной воды и наноматериалов / М.Ю. Субочева, Д.Н. Труфанов, А.О. Жигачев // Инновационная экономика и промышленная политика региона (ЭКОПРОМ-2009) : труды VII междунар. науч.-практ. конф. / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. 30 сентября – 3 октября 2009 г. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – Т. 2. – С. 507 – 511.

16. Субочева, М.Ю. Высокоэффективный растворитель для удаления солей из паст органических пигментов / М.Ю. Субочева, Д.Н. Труфанов, А.О. Жигачев // Современные направления теоретических и прикладных исследований : сборник научных трудов по материалам междунар. науч.-практ. конф. – Одесса : Черноморье, 2010. – Т. 5. Технические науки. – С. 28 – 33.

17. Субочева, М.Ю. Моделирование процесса удаления водорастворимых солей из суспензии органических пигментов / М.Ю. Субочева, Д.Н. Труфанов, А.О. Жигачев // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-23 : сборник трудов XXIII междунар. науч. конф. : в 12 т. – Саратов, 2010. – Т. 8. Секция 9. – С. 41 – 42.

18. Панова, И.В. Получение азопигментов с высокой колористической концентрацией при использовании структурированной воды и нанокатализаторов (на примере пигмента оранжевого Ж) / И.В. Панова, М.Ю. Субочева // Актуальные проблемы в науке и технике. Т. 1. Химия, новые материалы, химические технологии, управление в экономических и социальных системах : сборник трудов Пятой всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых, 17 – 20 февраля 2010 г. – Уфа : Изд-во «УГАТУ», 2010. – С. 23 – 27.

19. Субочева, М.Ю. Ресурсосбережение при проведении процесса отмывки паст азопигментов с помощью структурированной воды и наноматериалов / М.Ю. Субочева, Д.Н. Труфанов, А.В. Куницкий // Сборник научно-исследовательских работ аспирантов-финалистов конкурса аспирантов и молодых ученых в области энергосбережения в промышленности, г. Новочеркасск, октябрь 2010 г. / Мин-во образования и науки РФ, Юж-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск : ЛИК, 2010. – С. 191 – 194.

---

Подписано к печати 19.05.2011.  
Формат  $60 \times 84/16$ . 1,05 усл. печ. л., 1,0 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. Заказ № 220

Издательско-полиграфический центр ГОУ ВПО ТГТУ  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14