

На правах рукописи

БОЛДЫРЕВ ВЕНИАМИН СТАНИСЛАВОВИЧ

**ДЕЙСТВИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ
НА БИОХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ**

02.00.04 — физическая химия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2013

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: кандидат химических наук,
доктор педагогических наук, доцент
Фадеев Герман Николаевич
Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
профессор кафедры химии

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Слепцов Владимир Владимирович
заведующий кафедрой
наукоемких технологий радиоэлектроники
Российский государственный
технологический университет
им. К.Э. Циолковского (МАТИ)

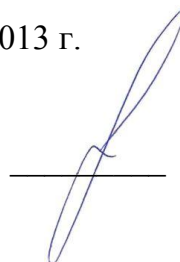
кандидат технических наук, доцент
Агеева Екатерина Владимировна
доцент кафедры
фундаментальной химии и химической
технологии
Юго-Западный государственный университет
(г. Курск)

Ведущая организация: Акустический институт имени академика
Н.Н. Андреева

Защита состоится «11» декабря 2013 г. в _____ часов на заседании
Диссертационного совета Д 212.204.05, созданного на базе Российского химико-
технологического университета им. Д.И. Менделеева по адресу: 125047, г. Москва,
Миусская пл., д. 9 в конференц-зале.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре
Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева.

Автореферат диссертации разослан «___» ноября 2013 г.
Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.204.05
к.х.н. доцент



Яровая О.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Известны успехи в применении ультразвукового воздействия в технологических процессах. Однако такое воздействие во многих случаях нельзя применять для составов, содержащих биохимически активные структуры, так как это приводит к их разрушению. В настоящее время основным промышленным методом гомогенизации таких составов является перемешивание. Недостатком подобной технологии является длительность процесса и значительное количество не переработанного исходного материала. На основании исследования, проведенного в представленной работе, эффективность процесса и уменьшение массы неиспользованного материала предлагается повысить внедрением в технологический процесс низкочастотных колебаний.

Решения этой задачи связано с необходимостью выяснения особенностей действия на биохимически активные структуры низкочастотных колебаний инфразвукового и звукового диапазонов с учетом частоты, мощности и длительности оказываемого воздействия. Результаты представленного исследования актуальны для практического использования с целью повышения эффективности технологических процессов.

Диссертационное исследование выполнялось в рамках целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (2012-2014 гг.) Министерства образования и науки РФ (номер госрегистрации НИР: О 120 127 8122). Прикладное значение результатов диссертации подтверждено актами приема работы при выполнении Договоров № 18-01-10 и № 260410 «Изучение влияния волновых и других физико-химических воздействий на процесс приготовления «Спрея»» (см. главу 4 и Приложение к диссертации).

Цель работы заключается в исследовании действия низкочастотных колебаний на биохимически активные структуры и применении на практике низкочастотных воздействий для повышения качества продуктов и сокращения времени технологических операций.

Для достижения результатов были определены следующие цели исследования:

1. Создание экспериментальной установки для изучения действия низкочастотных колебаний на биохимически активные соединения и разработки методов воздействия на технологические процессы.

2. Проведение экспериментов на модельных системах: иод-крахмал, амилоидин, амилопектоидин, иодиол, изменяющих свое состояние в поле действия колебаний инфразвукового и звукового диапазонов, в зависимости от частоты, мощности и времени воздействия низкочастотных колебаний.

3. Изучение особенностей действия низкочастотных колебаний, на примере иодсодержащих клатратных соединений и использование полученных результатов для повышения эффективности технологических процессов.

4. Модернизация технологического процесса получения гомогенизированных составов с применением вибрационных воздействий. Для повышения эффективности процесса использовать частоты, при которых скорость звукохимического процесса становится максимальной.

Научная новизна. Экспериментально определены закономерности изменения свойств иодсодержащих клатратов в поле действия низкочастотных колебаний в зависимости от частоты, мощности и времени воздействий.

Для звукохимического превращения иодсодержащих клатратов в поле низкочастотных колебаний найден эффект резонансной частоты, при которой скорость процесса становится максимальной.

С использованием найденного эффекта резонансной частоты сокращено время технологического процесса использующего составы, содержащие органические компоненты.

Установлено, что определяющее значение при звукохимическом превращении имеет состояние активной части комплекса, способной к

максимальному взаимодействию с внешним энергетическим полем на резонансной частоте.

Практическая ценность.

1. Разработан метод технологического воздействия с применением низкочастотных колебаний. Предложенный метод позволяет качественно повысить эффективность процесса за счет значительного сокращения времени технологического цикла и повышения выхода полезного продукта. Результаты применения подтверждены актами по Договорам № 18-01-10 и № 260410 (см. Приложение диссертации).

2. Создана установка, позволяющая модернизировать технологические процессы диспергирования и гомогенизации составов, содержащих биохимически активные структуры, методом воздействия низкочастотных колебаний.

3. Впервые в технологическую практику введено воздействие низкочастотных колебаний с использованием резонансных частот для повышения эффективности технологического процесса диспергирования и гомогенизации составов, включающих биологически активные структуры.

4. На основании сведений представленной диссертационной работы, повышена эффективность технологического процесса приготовления «Спрея», содержащего биохимически активные соединения. Низкочастотные воздействия использованы для увеличения скорости процесса, сокращения времени и уменьшения массы не переработанного исходного материала.

5. Экспериментально установлены различия в кинетике звукохимических превращений амилоидина, амилопектоидина, иодиола, что позволяет подбирать структуры, способные избирательно поглощать энергию низкочастотных колебаний.

Апробация работы. Результаты и основные положения проведенной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: Научно-

методическая конференция «Студенческая научная весна — 2010», Москва, 2010 г.; 4-я Научно-практическая конференция аспирантов и молодых исследователей, Москва, 2010 г.; 2-ая Всероссийская конференция «Химия в нехимическом ВУЗе», 2010 г.; 5-я Научно-практическая конференция аспирантов и молодых исследователей, Москва, 2011 г.; 6-я Конференция молодых ученых «Теоретическая и экспериментальная химия жидкофазных систем», Иваново, 2011 г.; 59-я Всероссийская научно-практическая конференция химиков с международным участием «Актуальные проблемы химического и экологического образования», Санкт-Петербург, 2012 г.; 8-я Всероссийская конференция «Необратимые процессы в природе и технике», Москва, 2013 г.; 6-я Научно-методическая конференция аспирантов и молодых исследователей Москва, 2013 г.; 60-я Всероссийская научно-практическая конференция химиков с международным участием «Актуальные проблемы химического и экологического образования», Санкт-Петербург, 2013 г.; 7-th European Symposium on Non-Lethal Weapons, Germany, Ettlingen, 2013.

Публикации. Содержание диссертации отражено в 20 печатных работах, в том числе в 5 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и в тезисах 12-ти Всероссийских и Международных конференций.

Структура и объем работы. Работа изложена на 118 страницах машинописного текста, состоит из введения, 4 глав, приложения, включает 41 рисунок, 16 таблиц, список литературы содержит 200 источников.

Личный вклад автора. Диссертантом выполнен весь объем экспериментальных исследований, проведены необходимые расчеты, обработка результатов и их анализ, сформулированы общие положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. В настоящее время в технологических процессах с успехом применяется действие ультразвуковых колебаний. Однако для составов, содержащих биохимически активные структуры, такое воздействие во многих случаях приводит к потере их биохимической активности. Поэтому для подобных составов осуществляется перемешивание. Такая технология отличается длительностью процесса и значительным количеством неиспользованных исходных компонентов. Использование низкочастотных колебаний позволяет интенсифицировать подобные технологические операции.

Первая глава. Анализ литературы и работ, посвященных данному направлению исследований, показывает, что существует возможность разработки технологических процессов, основанных на применении низкочастотных колебаний. Препятствием для использования таких воздействий в технологии является отсутствие данных об особенностях изменений биохимически активных структур под действием низкочастотных колебаний. Без глубокого исследования звукохимических реакций в энергетическом поле низкочастотных колебаний невозможно осуществить оптимизацию технологических процессов.

Вторая глава включает описание экспериментальных установок и методов исследования. На рис.1 представлен разработанный нами электромагнитный возбудитель колебаний (ЭВК), позволяющий осуществлять воздействие колебаний в одной плоскости по двум координатам.

Принцип перемещения по каждой координате основан на электромагнитном приводе в каждом направлении перемещения. Включение может осуществляться как по одному направлению, так и одновременное по двум координатам. Электрический импульс подается от генератора частоты колебаний. Плавная регулировка через усилители позволяет на подаваемой частоте получать требуемую амплитуду по каждой координате. Совокупным воздействием достигается требуемая мощность при одновременном перемещении сразу по двум координатам.

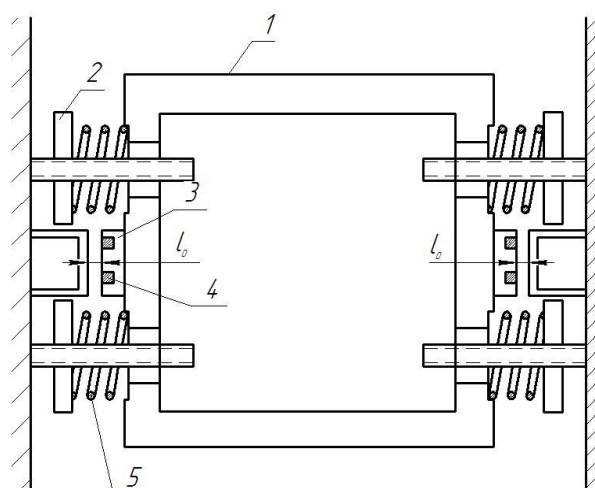


Рис. 1. Кинематическая схема привода электромагнитного возбудителя колебаний по одной координате: 1 - рабочий стол, 2 - регулировочные гайки, 3 - якорь электромагнита, 4 - обмотка электромагнита (l_0 - воздушный зазор), 5 - пружина.

Технология приготовления «Спрея» требует нагревания состава до 95-97 °С в закрытом резервуаре. Для этой цели был разработан и сконструирован реактор (рис.2) с термостатирующей оболочкой.



Рис. 2. ЭВК с термостатируемым реактором.

Конструкция реактора предусматривает не только соблюдение температурного режима с точность ± 1 градус, но и введение необходимых компонентов по ходу технологического процесса.

Схема установки, работающей по принципу «резонатора Гельмгольца», приведена на рис. 3. Сигнал от генератора через усилитель подается на электродинамический преобразователь 1. Вибратор 2-3 из тефлона, опущенный в жидкость, создает давление; жидкость в объеме реактора 4 создает упругость.

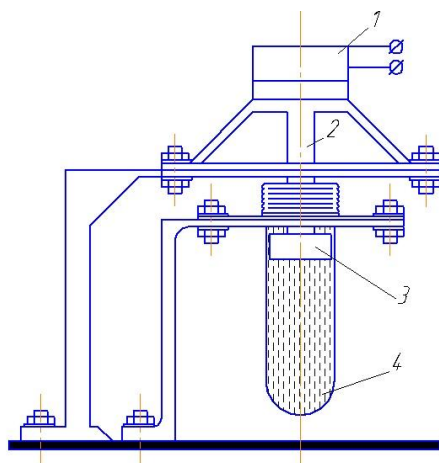


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 - электродинамический преобразователь, 2-стержень вибратора, 3-поршень вибратора, 4 - реактор с раствором.

Выбор объектов исследования. В качестве «моделей» биохимически активных структур привлечены клатратные соединения иода с крахмалом, с амилозой, с амилопектином, с поливиниловым спиртом (иодиол). Эти системы имеют сходство с ферментами-биокатализаторами в том, что их биохимическая активность присуща лишь системе в целом. Комплексы построены по типу «гость - хозяин» из низкомолекулярной молекулы иода и высокомолекулярной молекулы полимера. Они могут приближенно рассматриваться как модели ферментов, где иод - кофермент, а молекула полимера - апофермент. Амилоидин введен в медицинскую практику В.О. Мохначом с 1940-1941 гг. как активный медицинский препарат широкого назначения. Известное обратимое термическое обесцвечивание иод-крахмального комплекса позволяло надеяться на чувствительность его клатратов к действию частот инфразвукового и звукового диапазонов. Низкочастотные колебания оказывают на эти соединения, как и на биохимические

системы организма человека, отрицательное воздействие - комплексы необратимо обесцвечиваются.

Методы исследования. Различие оптических спектров клатратов в видимой области позволяет использовать в качестве основного метода измерения оптической плотности их водных растворов. Контроль осуществлялся определением pH исходных и озвученных растворов, а так же использованием аналитических методов количественного определения содержания продуктов.

В третьей главе рассмотрены кинетические аспекты звукохимических процессов в поле действия низкочастотных колебаний. Определены изменения оптической плотности водных растворов клатратов от частоты подаваемых колебаний. Для исследованных клатратов эти зависимости имеют экстремальный вид (рис.4). Для каждого соединения найдена резонансная частота. Исходный цвет растворов изученных клатратных комплексов после прекращения низкочастотных воздействий не восстанавливается.

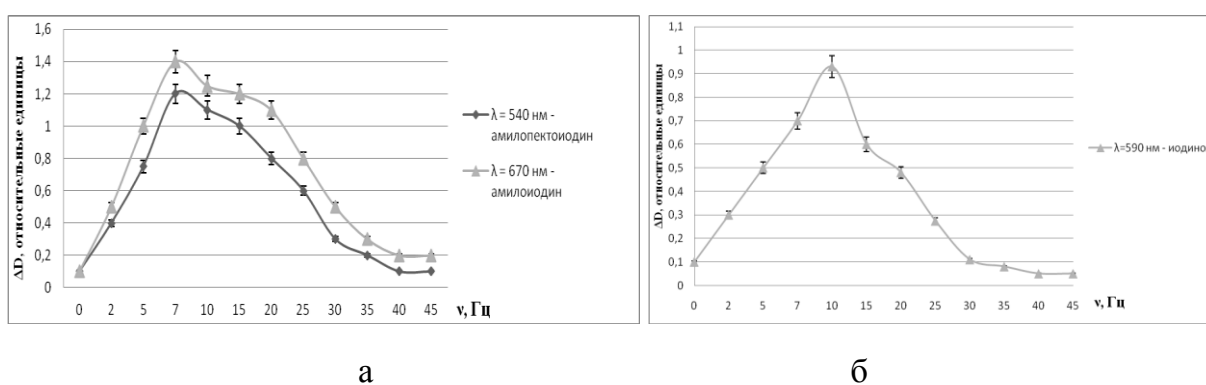


Рис.4. Изменение оптической плотности растворов от частоты акустического воздействия при интенсивности $I=40$ дБ и длительности $\tau=30$ мин: а - амилопектоидин и амилоидин; б - иодиол

Кинетика звукохимического процесса превращения клатратных комплексов амилоидина и амилопектоидина имеет следующие особенности. В инфразвуковом диапазоне преимущество в скорости превращения имеет (табл.2) амилоидин. На границе инфразвукового и звукового диапазонов в интервале частот от 15 до 25 Гц скорости процесса превращения клатратов выравниваются

(табл.3). При увеличении налагаемых частот до 45 Гц скорость превращения амилопектоиодина становится выше.

Таблица 2.

Инфразвуковой диапазон
Константы скоростей (k_I, c^{-1}) звукохимического превращения комплексов

Частота, Гц	Амилопектоиодин	Амилоиодин
5	$0,88 \cdot 10^{-4}$	$1,34 \cdot 10^{-4}$
7	$0,93 \cdot 10^{-4}$	$1,65 \cdot 10^{-4}$
10	$0,87 \cdot 10^{-4}$	$1,67 \cdot 10^{-4}$
Среднее	$k_I (5-15 \text{ Гц}) = 0,9 \pm 0,2 \cdot 10^{-4}$	$k_I (5-15 \text{ Гц}) = 1,6 \pm 0,2 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3.

Звуковой диапазон
Константы скоростей (k_I, c^{-1}) звукохимического превращения комплексов

Частота, Гц	Амилопектоиодин	Амилоиодин
20	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
35	$0,91 \cdot 10^{-4}$	$0,87 \cdot 10^{-4}$
45	$0,97 \cdot 10^{-4}$	$0,86 \cdot 10^{-4}$
Среднее значение	$k_I = 1,0 \pm 0,2 \cdot 10^{-4} c^{-1}$	$k_I = 0,9 \pm 0,2 \cdot 10^{-4} c^{-1}$

Адсорбция иода на амилозе и амилопектине. Одной из возможных причин различия в поведении исследуемых клатратов может быть различная прочность адсорбции иода в клатратах. Из сравнения энергии активации адсорбции иода следует, что иод менее прочно адсорбирован на амилопектине ($E_{\text{актАП}} = 29 \pm 2$ кДж/моль), чем на амилозе ($E_{\text{актАЛ}} = 44 \pm 2$ кДж/моль).

Если предположить, что идет процесс десорбции иода, то обесцвечиваться комплекс амилопектоиодин должен легче. Этого, однако, не происходит. Проведенные нами измерения показали, что превращения амилопектоиодина происходят с энергией активации $E_{\text{актАП}} = 38 - 41$ кДж/моль большей, чем в случае амилоиодина $E_{\text{актАЛ}} = 29 - 31$ кДж/моль. Амилоиодин, в котором иод адсорбирован прочнее, имеет меньшую энергию активации звукохимического превращения, чем амилопектоиодин.

Из полученных экспериментальных данных следует, что в поле низкочастотного воздействия происходит не десорбция, а отличный от десорбции процесс превращения исследуемых соединений. При наложении поля низкочастотных колебаний резонансными для амилоиодина являются инфразвуковые частоты. Амилопектоидин активнее «откликается» на частоты звукового диапазона. Из сопоставления полученных данных можно сделать вывод: решающее значение для звукохимического превращения имеет не структура комплекса, а состояние активной части клатрата – молекул иода.

Превалирующее значение состояния активной части клатрата. Проверка справедливости этого вывода проведена на иодиоле, сходном по строению с амилоидином. Энергия активации адсорбции иода на поливиниловом спирте (ПВС) составляет величину 42,64 кДж/моль. Это величина близка к энергии активации адсорбции иода на амилозе (44 кДж/моль). Экспериментальные данные по превращению иодиола в звукохимическом процессе при различной интенсивности воздействия приведены в табл.4, в сравнении с данными для других клатратов.

Таблица 4.

Константы скорости ($k_f \times 10^4, \text{с}^{-1}$) дестабилизации клатратов при различной интенсивности воздействия

Частота $\Gamma\text{ц}$	Звуковое давление, дБ	Иодиол	Иод+крахмал	Амилопектоидин	Амилоидин
10	40	5,66	2,93	1,75	3,7
	55	7,95	6,01	1,61	4,83
20	40	4,28	2,78	1,71	0,9
	55	9,33	2,87	0,52	1,13
25	40	2,01	1,37	1,18	0,13
	55	4,01	2,16	0,75	0,34

Константы скорости его дестабилизации выше, а энергия активации процесса звукохимического превращения иодиола (16 ± 2 кДж/моль) значительно ниже, чем энергия активации звукохимического процесса с участием амилоиодина.

Таким образом, из полученных экспериментальных данных следует: прочность адсорбции иода не влияет на способность клатратов резонансно взаимодействовать с низкочастотными колебаниями. На основе сравнительного исследования поведения амилоиодина и иодиола подтвержден сделанный нами ранее принципиальный вывод: в поле низкочастотных колебаний решающее значение для звукохимических превращений имеет состояние активной части клатрата, способной вступать в резонансное взаимодействие при определенных частотах внешнего воздействия.

Глава четвертая посвящена практическому применению результатов представленного диссертационного исследования на примере выполнения двух соглашений: Договора № 18-01-01 и Договора № 260410 «Изучение влияния вибрационных и ультразвуковых воздействий на процесс приготовления «Спрея»», заключенных между ООО «Марс» и НУК «Фундаментальные науки» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Перед исполнителями были поставлены задачи: уменьшить массу сухого остатка после процесса приготовления «Спрея» минимум на 25 масс.%; сократить время технологического цикла процесса на 25%. Результаты выполненной работы превзошли величины параметров, указанных в Техническом задании. Использование резонансной частоты привело к уменьшению сухого остатка с 11,3 % до 4,6 - 4,8 %, а применение низкочастотных колебаний сократило время технологического цикла (рис.5) практически в 2 раза.

Время по стандартной методике: $T_s = 220-230$ мин.

По разработанной нами методике: $T_n = 115-130$ мин.

Низкочастотные колебания существенно воздействуют на биохимические структуры, составляющие основу исходных компонентов, применяемые в технологии приготовления «Спрея». Скорость процесса максимальна при резонансной частоте, что соответствует выводам диссертационной работы. Эффективность применения технологии с использованием низкочастотных

колебаний подтвердила результаты представленного диссертационного исследования.

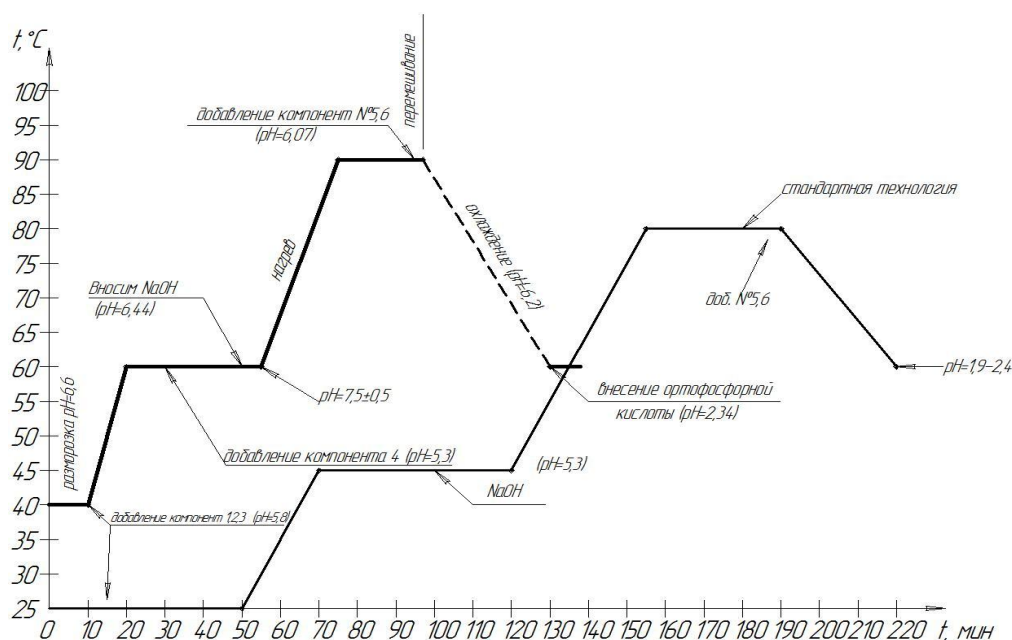


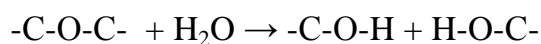
Рис.5. Сравнение времени технологических циклов предлагаемой методики (верхний график) и стандартной методики (нижний график)

Экономическая эффективность технологии с применением низкочастотных колебаний при замене одной якорной мешалки, используемой при стандартной методике, на два вибрационных поршня (см. главу 4 диссертации) дает на 1 установку экономический эффект $\Delta_{\text{год}} = 3\,563\,750$ руб.

Молекулярные аспекты действия низкочастотных колебаний на биохимически активные структуры. Сравнение ИК-спектров амилозы и амилопектина до и после воздействия низкочастотных колебаний показывает, что изменения, происходящие в амилозе и амилопектине, практически аналогичны. Уменьшается относительная интенсивность пиков поглощения в области валентных колебаний групп $-C-O-C-$ ($1000-1100\text{ см}^{-1}$) и уменьшение пиков в области 3000 см^{-1} , соответствующих свободным колебаниям $-OH$ групп. Данные ИК-спектров указывают на разрыв между спиральями полимерной структуры и гидролитический процесс расщепления связей $-C-O-C-$ между элементарными гликозидными

звеньями компонентов крахмала. При этих процессах происходит увеличение адсорбции воды. Величина энергии адсорбции воды на крахмале $E_{\text{адс}}(\text{H}_2\text{O}) = 27 \pm 2$ кДж/моль сопоставима с энергией активации $E_{\text{дест.АЛ}} = 29-31$ кДж/моль процесса дестабилизации амилоидина.

Энергии низкочастотных колебаний достаточно для изменения состояния вторичной структуры полимеров. Ослабление связей между спиралями полимера приводит к появлению между витками полисахаридов молекул воды. Проникая между спиралями полимера, вода меняет расстояния между витками спирали. На ИК - спектрах уменьшена интенсивность пика в области 1000 см^{-1} , что соответствует уменьшению числа связей -С-О-С-, между элементарными звеньями полисахаридов как итог гидролитического взаимодействия:



На самом полимере полисахаридов происходит адсорбция молекул воды с использованием групп -ОН, образовавшихся в результате гидролиза. В представленных ИК-спектрах это отражается уменьшением пика в области 3000 см^{-1} , соответствующего свободным колебаниям групп -ОН.

Молекулы иода, находящиеся в двойной спирали амилозы, испытывают сильное влияние межмолекулярных сил и групп -ОН. В зависимости от длины цепочки иода (т.е. степени полимеризации в клатрате) комплексы имеют разный цвет. Из-за разрыва связей между атомами иода уменьшается длина цепочки его атомов, а это приводит к потере цвета клатратами.

ВЫВОДЫ

1. Исследованы действия низкочастотных колебаний на биохимически активные структуры - иод-крахмальный комплекс, амилоидин, амилопектоидин, иодиол. Экспериментально определены зависимости превращений изученных клатратов от частоты, мощности и времени налагаемых воздействий. Установлено,

что в поле действия частот инфразвукового и звукового диапазонов происходит необратимое обесцвечивание клатратов.

2. Создана установка, позволяющая изучать процессы звукохимических превращений в поле низкочастотных колебаний инфразвукового и звукового диапазонов. В аппарате собственной конструкции проведены эксперименты, позволившие выявить особенности поведения иодсодержащих клатратных комплексов в зависимости от параметров налагаемого воздействия.

3. Определено, что при низкочастотном воздействии на резонансных частотах происходит экстремальное ускорение звукохимических превращений изученных клатратов. Для каждого исследованного соединения найдены резонансные частоты, при которых скорость звукохимического превращения становится максимальной. Использование резонансной частоты звукохимической реакции делает возможным получения максимальной скорости технологических операций.

4. Установлены особенности состояния биологически активных комплексов, ответственных за изменения, происходящие с ними во внешнем энергетическом поле. Обнаружено, что решающее значение имеет состояние той части клатрата, которая способна активно взаимодействовать с налагаемыми низкочастотными колебаниями.

5. Различия звукохимических превращений исследованных соединений делают возможным использование низкочастотных колебаний с фиксированными параметрами для низкочастотного воздействия на биохимически активные структуры.

6. Впервые в технологическую практику для повышения эффективности процесса вместо перемешивания введено действие низкочастотных колебаний. Увеличилась эффективность технологических операций переработки органических составов, содержащих биохимически активные соединения: значительно сокращена продолжительность технологического цикла изготовления «Спрея» и вдвое уменьшено количество не переработанного исходного материала.

7. Проведен расчет экономической эффективности технологии с применением низкочастотных колебаний при замене одной якорной мешалки, используемой при стандартной методике, на два вибрационных поршня. При изменении технологии экономический эффект в расчете на один аппарат составил $\Delta_{\text{год}} = 3\,563\,750$ руб.

Основное содержание диссертационной работы изложено в публикациях:

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Фадеев Г.Н., Болдырев В.С., Ермолаева В.И. Биологически активные клатраты амилоидин и амилопектоидин в поле действия низкочастотных акустических колебаний // Доклады Академии наук. 2012. Т. 446, № 4. С. 446-470.
2. Фадеев Г.Н., Болдырев В.С., Тверитинов В.Н. Молекулярные аспекты действия нелетального акустического оружия // Вестн. МГТУ. Сер. «Естественные науки» 2012. № 4. С. 52-62.
3. Фадеев Г.Н., Болдырев В.С., Ермолаева В.И., Елисеева Н.М. Клатратные комплексы иод-крахмал в поле низкочастотных акустических воздействий // Ж. физ. химии. 2013. Т. 87, № 1. С. 40-46.
4. Фадеев Г.Н., Болдырев В.С., Тверитинов В.Н., Пашкова Л.И. Клатраты иода — прототипы антидотов против акустического нелетального оружия // Вестн. МГТУ. Сер. «Естественные науки». 2013. № 1. С. 82-88.
5. Болдырев В.С., Фадеев Г.Н., Маргулис М.А., Назаренко Б.П. Кинетика превращений иодсодержащих клатратов при акустических воздействиях // Ж. физ. химии. 2013. Т. 87, № 9. С. 1608-1611.

Статьи в научных изданиях и трудах Всероссийских и Международных конференций:

6. Fadeev G.N., Boldyrev V.S., Ermolaeva V.I. Biologically active clathrates amiloidine and amilopektoiodine under exposure to low-frequency acoustic field // Doklady Biochemistry and Biophysics. 2012. V. 446. P. 131-134.

7. Fadeev G.N., Boldyrev V.S., Ermolaeva V.I., Eliseeva N.M. Iodine – starch clathrate complex in low-field acoustic fields // Russ. J. of Phys.Chem.A 2013. V.87, № 1. P. 35-39.
8. Boldyrev V.S., Fadeev G.N., Margulis M.A., Nazarenko B.P. Iodine – starch clathrate complex under the impact of a low-frequency acoustic field // Russ. J. of Phys. Chem. A. 2013. V. 87, № 9. P. 1588-1591
9. Fadeev G.N., Boldyrev V.S., Ermolayeva V.I. Biologically active clathrates amiloidin and amilopektiodine – acoustic non-lethal weapon antidote prototypes //7-th European Symposium on Non-lethal Weapons.: Germany, Ettlingen. 2013. P. 50-1.
10. Фадеев Г.Н., Болдырев В.С. Клатратные комплексы иод-крахмал в поле действия низкочастотных колебаний // Шестая конференция «Теоретическая и экспериментальная химия жидкофазных систем». Сб. тр. Иваново. 2011. С. 18.
11. Болдырев В.С. Действие акустических колебаний на клатраты // Общеуниверситетская научно-техническая конференция «Студенческая весна - 2010».: Сб. докл. Москва. 2010. Т. 10, Ч. 1. С. 283-285.
12. Болдырев В.С. Поведение клатратных комплексов иод-крахмал в поле акустических низкочастотных воздействий // 59-ая Всероссийская научно-практическая конференция химиков с международным участие «Актуальные проблемы химического и экологического образования». Сб. тр. Санкт-Петербург. 2012. С. 415-416.
13. Болдырев В.С. Действие акустических колебаний на клатратные системы // Актуальные проблемы фундаментальных наук: Сб. тр. Москва. 2010. С. 56-57.
14. Фадеев Г.Н., Болдырев В.С., Елисеева Н.М. Действие акустических колебаний на систему иод-крахмал // Вторая Всероссийская конференция «Химия в нехимическом ВУЗе».: Сборник тр. Москва. 2010. С. 129-131.
15. Болдырев В.С. Иодсодержащие клатраты в поле низкочастотных акустических воздействий // Седьмая Всероссийская конференция «Необратимые процессы в природе и технике». Тр. конф. Ч. 1. Москва. 2013. С. 57-60.

16. Фадеев Г.Н., Болдырев В.С., Назаренко Б.П. Антидоты против акустического нелетального оружия // Седьмая всероссийская конференция «Необратимые процессы в природе и технике»: Тр. конф. Ч. II. Москва. 2013. С. 147-150.
17. Болдырев В.С., Синкевич В.В., Поварнина К.В. Звукохимическая реакция гидролиза иода // Молодежный научно-технический вестник. 2013, № 2. (электронное издание). URL. <http://sntbul.bmstu.ru/doc/555220.html> (дата обращения: 27.08.13.).
18. Болдырев В.С. Низкочастотные колебания, как метод воздействия на реакции в растворах // 60-ая Всероссийская научно-практическая конференция химиков с международным участием, «Актуальные проблемы химического и экологического образования»: Сб. тр. Санкт-Петербург. 2013. С. 488-491.
19. Болдырев В.С., Писаревский А.А. Об особенностях составления окислительно-восстановительных уравнений // 60-ая Всероссийская научно-практическая конференция химиков с международным участием «Актуальные проблемы химического и экологического образования»: Сб. тр. Санкт-Петербург. 2013. С. 321-324.
20. Фадеев Г.Н., Болдырев В.С. Отчего пали стены Иерихона // Журнал «Химия», Издательский Дом «1 сентября». 2013. № 1. С. 56-59.

Подписано в печать 06.11.2013 г.

Заказ № 2476 Тираж 100 шт.

Отпечатано в типографии «Алла-принт»

г. Москва, Лубянский пр-д., д.21, стр.5

www.allaprint.ru