МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Бийский технологический институт (филиал)

04201162459 На правах рукописи

Хмелев Сергей Сергеевич

Повышение эффективности кавитационно-акустических воздействий на

химико-технологические процессы в аппаратных системах с жидкой фазой

значительной вязкости

Специальность 05.17.08 - Процессы и аппараты химических технологий

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель - к.т.н., доцент Барсуков Р.В.

Бийск-2011

Введение 5

1 Ультразвуковая кавитационная интенсификация процессов в

аппаратных системах с жидкой фазой значительной вязкости и необходимость повышения эффективности таких процессов 10

1.1 Анализ состояния процессов химических технологий, основанных

на воздействии ультразвуковыми колебаниями на жидкие среды, характеризующихся значительной вязкостью 11

1.1.1 Воздействие ультразвука на полимеры 12

1.1.2 Воздействие ультразвука на эпоксидные смолы 14

1.1.3 Гомогенизация высокомолекулярных соединений 23

1.1.4 Кавитационная обработка нефтепродуктов 25

1.1.4 Л Применение ультразвуковой кавитационной обработки для

снижения вязкости нефтепродуктов 25

1.1.4.2 Ультразвуковые кавитационные способы обработки нефти с

целью повышения выхода легких фракций (холодный крекинг) 26

1.1.4.3 Создание водотопливных эмульсий 30

1.1.4.4 Переработка нефтешламов при помощи ультразвука 31

1.1.5 Применение ультразвука при производстве биодизеля 32

1.2 Анализ современного состояния ультразвукового оборудования для

реализации кавитационного процесса в жидких средах 35

1.3 Постановка задач исследования 41

2 Теоретическое исследование процессов возникновения кавитации в

жидких средах характеризующихся значительной вязкостью 43

2.1 Теоретический анализ механизма возникновения кавитации в

жидких средах значительной вязкости 45

2.2 Определение размеров кавитационного пузырька в линейно-вязкой

жидкости в зависимости от вязкости этой жидкости 48

2.3 Определение размеров кавитационного пузырька в нелинейно-

вязкой жидкости в зависимости от вязкости этой жидкости 59

2.4 Теоретическое исследование процесса формирования кавитационной области для определения оптимального по размерам технологического объёма и режимов акустического воздействия 64

3 Исследование процесса и выявление оптимальных режимов

ультразвуковой кавитационной обработки жидких сред со значительной вязкостью 71

3.1 Определение оптимальных параметров интенсивности

ультразвуковых колебаний для жидких сред с различной вязкостью 71

3.1.1 Разработка измерительного стенда для исследования влияния

свойств обрабатываемых сред на электрические параметры колебательных систем 71

3.1.2 Выбор оборудования и материалов для проведения

экспериментальных исследований 73

3.1.3 Методика проведения экспериментов 75

3.1.4 Исследование УЗ кавитационного воздействия на высоковязкие -

жидкие среды 75

3.1.5 Методика установления оптимального ультразвукового воздействия на технологические среды в производственных

условиях 84

3.2 Определение оптимальных условий резонансного усиления ультразвуковых колебаний 86

3.2.1 Разработка измерительного стенда для определения оптимальных

условий резонансного усиления колебаний 86

3.2.2 Методика проведения эксперимента 88

3.2.3 Исследование резонансных промежутков 88

4 Разработка ультразвуковых технологических аппаратов для кавитационной обработки жидких сред со значительной вязкостью и

проверка эффективности разработанного оборудования 93

4.1 Разработка ультразвуковых колебательных систем 93

4.1.1 Обоснование предельных характеристик по мощности известных

колебательных систем 94

4.1.2 Разработка УЗКО для технологических аппаратов с потребляемой

мощностью до 7000 Вт 98

4.1.2.1 Общие подходы к проектированию УЗКО повышенной

мощности 99

4.1.2.2 Разработка пьезоэлектрического преобразователя увеличенной

мощности 101

4.1.2.3 Разработка бустерного звена 107

4.1.2.4 Разработка рабочего излучающего инструмента 113

4Л .2.5 Разработка УЗКО 118

4.2 Разработка проточных камер для ультразвуковых технологических

аппаратов с УЗКС, содержащих в своем составе многополуволновые рабочие излучающие инструменты 121

4.3 Описание разработанных УЗКС 124

4.4 Исследование функциональных возможностей и эффективности -

разработанных ультразвуковых технологических аппаратов 126

4.4.1 Обезвреживание и разделение нефтешламовых месторождений... 126

4.4.2 Технология ультразвукового диспергирования суспензии

катализатора крекинга нефти 129

4.4.3 Технология ультразвукового кавитационного преобразования

углеводородного сырья 133

4.4.4 Модификация неотвержденных эпоксидных композиций 134

4.4.5 Исследование влияния диспергирования волластонита с помощью

ультразвука 135

Заключение 139

Список использованных источников 141

Приложение А Акт использования 156

Одним из новых подходов к решению различных технологических задач является использование ультразвуковых (УЗ) технологий.

Использование ультразвуковых колебаний высокой интенсивности позволяет ускорить традиционные и реализовать новые процессы химических технологий в жидких и жидкодисперсных средах.

Уникальная технологическая эффективность УЗ воздействия

обеспечивается возникновением в жидких средах при распространении колебаний кавитационных парогазовых пузырей, накапливающих энергию при их расширении и взрывающихся при сжатии с созданием ударных волн и коммулятивных струй.

Ультразвуковая интенсификация процессов химических технологий в жидких средах реализуется при контактном введении колебаний непосредственно в жидкие среды и обеспечении условий для возникновения и поддержания режима «развитой» кавитации.

На практике УЗ технологии (растворение, экстрагирование, диспергирование, эмульгирование) наиболее эффективно реализуются в воде, органических растворителях и средах на водной основе с малым содержанием твердых фракций. Эффективность реализации процессов в таких средах обусловлена малым затуханием колебаний и возможностью создания развитой кавитации при минимальных энергетических затратах.

Однако в последние годы все большее значение приобретают технологические процессы (диспергирование, эмульгирование, растворение и равномерное распределение наночастиц в смолах и полимерах, экстрагирование в масляных средах и т.п.) в жидких средах, характеризующихся аномально высоким затуханием колебаний и высокой вязкостью (глицерин, масла, краски), а также в дисперсных системах (эмульсии, суспензии) и высокомолекулярных средах (смолы, полимеры, нефти и их производные).

Уникальные возможности ультразвуковых колебаний высокой интенсивности не нашли применения для интенсификации процессов химических технологий в вязких и высокодисперсных средах.

Основные причины этого обусловлены отсутствием теоретических и экспериментальных данных о возможностях создания режима развитой кавитации в разнообразных вязких и дисперсных жидких средах, отсутствием ультразвуковых технологических аппаратов, способных создавать развитую кавитацию в таких средах, отсутствием технологических камер, позволяющих обеспечить увеличение объемов технологических сред, единовременно обрабатываемых в кавитационном режиме.

Указанные причины запрещают использование существующих типов УЗ аппаратов при переходе от лабораторных исследований к промышленному использованию.

В связи с этим задача повышения эффективности процессов химических технологий в вязких и высокодисперсных жидких средах за счет ультразвукового воздействия в кавитационном режиме является актуальной.

Цель работы — создание ультразвуковых аппаратов, способных обеспечить повышение эффективности (производительности) УЗ обработки жидких сред со значительной вязкостью за счет выявления и установления оптимальных режимов кавитационного воздействия в технологических камерах при реализации различных процессов химических технологий

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- установить причины, ограничивающих эффективное применение УЗ технологий для интенсификации процессов химических технологий в жидких средах, характеризующихся значительной вязкостью;

- разработать математическую модель процесса формирования кавитационных пузырьков с учетом влияния вязкости и выявление оптимальных режимов ультразвукового воздействия на различные по вязкости технологические среды на основе анализа разработанной модели;

- определить условия формирования максимальных по размерам зон

кавитационного воздействия в технологических камерах при реализации процессов в жидких средах со значительной вязкостью; .

- разработать и изготовить пьезоэлектрические колебательные системы повышенной мощности с увеличенной поверхностью излучения для обеспечения ввода УЗ колебаний с интенсивностью, достаточной для реализации кавитационного процесса;

- разработать специализированные УЗ технологические аппараты и технологические камеры для кавитационной обработки жидких сред в периодическом и проточном режимах;

- исследовать функциональные возможности созданных аппаратов для подтверждения эффективности реализации различных процессов химических технологий.

В первом разделе диссертационной работы проведен анализ состояния процессов химических технологий, интенсифицируемых воздействием ультразвуковых колебаний в жидких средах, отличающихся высокой вязкостью и дисперсностью, а также анализ современного состояния ультразвукового оборудования для реализации таких процессов. .

Анализ показал, что отсутствие необходимых теоретических и экспериментальных данных об оптимальных режимах энергетического воздействия на различные вязкие жидкие среды, а также отсутствие информации об оптимальных по форме и размерам технологических камер обусловливают необходимость проведения теоретических исследований процесса кавитационной обработки для создания на их основе новых технологических аппаратов, способных обеспечивать повышение эффективности химико-технологических процессов в промышленных масштабах.

Второй раздел посвящен теоретическим исследованиям, конечным результатом которых являются определение необходимой интенсивности воздействия (мощности аппаратов) для реализации режима развитой

кавитации жидких средах харктеризующихся и определение размеров формируемой в различных условиях и при различных интенсивностях УЗ воздействия кавитационной области в технологических камерах различной формы.

Разработанная модель позволила установить необходимые интенсивности воздействия для реализации режима развитой кавитации в высоковязких и дисперсных жидких средах и определить размеры - формируемой в различных условиях и при различных интенсивностях УЗ воздействия кавитационной области в технологических камерах. Полученные результаты позволили выработать требования не только к мощностным параметрам электронных генераторов, но и определить требуемые параметры ультразвуковых колебательных систем.

Третий раздел содержит результаты экспериментальных исследований, направленных на подтверждение численных показателей оптимальной интенсивности УЗ воздействия на высоковязкие и дисперсные жидкие среды. Описанные в третьем разделе экспериментальные исследования показали сопоставимость результатов, полученных при помощи анализа

разработанной математической модели и результатов экспериментальных исследований.

В четвертом разделе рассматривается разработка ультразвуковых колебательных систем и проточных технологических камер, вырабатываются требования к основным узлам и элементам, из которых будет состоять УЗКС, приводится исследование функциональных возможностей и эффективности разработанных УЗ аппаратов.

Работа является продолжением исследований, проводимых в «Лаборатории акустических процессов и аппаратов» Бийского

технологического института (филиала) Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет шй. И.И. Ползунова».

Заключение

В результате выполненияработы созданыультразвуковые

технологическиеаппаратыспособныеобеспечить повышение

эффективностипроизводительностиУЗобработкижидкихсредсвысокойвязкостьюилидисперсностьюзасчетвыявленияиустановленияоптимальныхрежимовкавитационноговоздействиявнеограниченныхиограниченныхпоразмерамтехнологическихкамерахприреализацииразличныхпроцессовхимическихтехнологийПри достижении

поставленнойцелибылирешеныследующиечастныезадачи

 установленыпричиныограничивающиеэффективноеприменениеУЗтехнологийдляинтенсификациихимическихтехнологийвжидкихсредаххарактеризующихсязначительнойвязкостью

 разработанатеоретическаямодельпозволяющаяопределятьоптимальнуюинтенсивностьультразвуковоговоздействиядляреализациипроцессаразвитойкавитациивобрабатываемойсреде

 выявленыусловияформированиямаксимальныхпоразмерамзонкавитационноговоздействиявтехнологическихкамерахчтопозволилоприустановлениирезонансныхявленийувеличитьобъемединовременнообрабатываемойжидкостивразавсравненииснерезонанснымитехнологическимикамерами

 разработаныпьезоэлектрическиеколебательныесистемыспотребляемоймощностьюВтВтиВтрабочиеинструментысповерхностьюизлучениядосмспособныеобеспечитьвводУЗколебанийсинтенсивностьюдостаточнойдляреализациикавитационногопроцессажидкихсредахсозначительнойвязкостью

 разработаныспециализированныеУЗаппаратыипроточныереакторысодержащиевсвоемсоставетехнологическиекамерыособойформычтопозволилообеспечитьрезонансноеусилениеУЗколебанийиравномерностьобработкивсегообъемажидкости

исследованыфункциональныевозможностиразработанногоультразвуковоготехнологическогооборудованиянапримеререализацииразличныхпроцессовхимическойтехнологиипоказанаэффективностьсозданныхультразвуковыхаппаратов