

Ультразвуковые химические реакторы

Савин И.И., Цыганок С.Н., Лебедев А.Н., Генне Д.В., Смердина Е.С.

Введение

Современные промышленные предприятия непрерывно наращивают темп промышленного производства. Как правило, для этого необходимо модернизировать или полностью изменять всю технологическую цепочку. Широко известно, что использование ультразвуковых колебаний высокой интенсивности позволяет интенсифицировать многие технологические процессы, такие как пропитка композитных материалов, сверление хрупких и особо твердых материалов, растворение, экстрагирование, эмульгирование, мойка и очистка.[1,2]

Большое количество исследований проведенных на настоящий момент указывают на то, что скорость протекания большинства химических реакций увеличивается под воздействием акустического поля, а так же существуют реакции не протекающие без воздействия ультразвуковых колебаний[3-5].

Основным фактором влияющим на скорость реакции, считается кавитация. Кавитационные пузырьки характеризуются тем, что температура внутри схлопывающегося пузырька достигает примерно 5000 К, а давление около 1000 атм и со скоростью схлопывания около 400 км/ч. При схлопывании такого пузырька создается мощная ударная волна [3].

Создание подобных условий возможно при интенсивности акустического воздействия от 100 Вт/см². В связи с тем, что получить акустические колебания звуковой частоты высокой интенсивности весьма затруднительно, наибольшее распространение получило использование колебаний ультразвуковой частоты (свыше 20 кГц).

Для реализации таких технологических процессов существует особый класс технологических аппаратов называемых ультразвуковыми химическими реакторами, а исследованиями реакций протекающих под воздействием акустических колебаний занимается звукохимия.

1. Ультразвуковые химические реакторы для лабораторного использования

На настоящий момент существует большое количество типов ультразвуковых реакторов, отличающиеся друг от друга интенсивностью вводимых в жидкость ультразвуковых колебаний и возможностью или не возможностью проточной обработки [4,6].

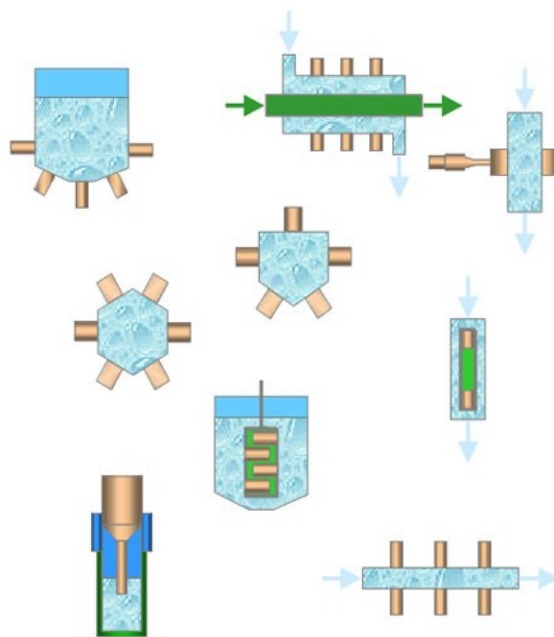


Рисунок 1 – Существующие типы ультразвуковых химических реакторов[4]

Максимальное ультразвуковое воздействие обеспечивает ультразвуковой химический реактор, представленный на рисунке 2.

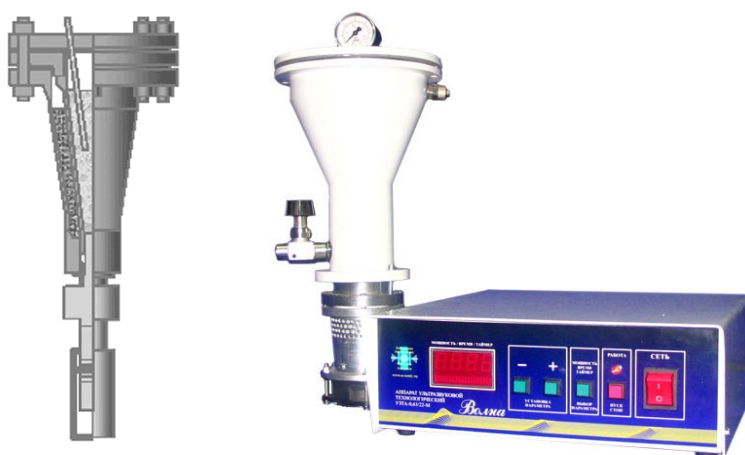


Рисунок 2 – Конструкция и внешний вид ультразвукового химического реактора «УЗОР»

Такого рода реакторы способны обрабатывать до 300 мл жидкости с интенсивностью до 200 Вт/см^2 .

В случаях, когда для экспериментальных целей достаточно обработать несколько десятков миллилитров используются ультразвуковой аппарат для обработки жидкости в пробирках. Отличительной особенностью данного аппарата является наличие двух сменных рабочих инструментов для ультразвуковой колебательной системы. Одна из них предназначена для непосредственного ввода колебаний в пробирку, а другая для обработки веществ, реакция которых с материалом колебательной системы не допустима.

Рабочий инструмент форму полого цилиндра в который устанавливается пробирка с реагентами, в промежутке между стенками пробирки и рабочего инструмента находится жидкость через которую осуществляется передача колебаний к стенкам пробирки (рисунок 3).



Рисунок 3 – Ультразвуковой химический реактор для обработки жидкостей в пробирках

За счет малых объемов обрабатываемой жидкости удается достичь интенсивности ультразвукового воздействия порядка 300 Вт/см^2 .

II. УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Основным недостатком вышеприведенных реакторов является малый обрабатываемый объем в единицу времени. В лабораторных исследованиях это не является большим недостатком, но для промышленных целей требуется принципиально другая конструктивная схема реактора. В данном случае, оптимальной конструктивной схемой является проточная обработка жидкости.

Лабораторией акустических процессов и аппаратов разработан целый ряд аппаратов для проточной обработки жидких сред мощностью от 400 ВА до 6000 ВА (рисунок 4).



а)



б)



б)



г)

д)

е)

а) Ультразвуковой аппарат «МУЗА» (400 ВА), б) Ультразвуковой аппарат «Поток» (630 ВА), в) Ультразвуковой аппарат «Кристалл - 2» (1000 ВА), г) Ультразвуковой аппарат «Поток-3» (1000 ВА), д) Ультразвуковой аппарат «Булава», модель 1000-3 (3000 ВА), е) Ультразвуковой аппарат «Булава», модель 1000-6 (6000 ВА)

Рисунок 4 – Ультразвуковые химические реакторы различной мощности

Отличительной особенностью аппаратов мощностью более 2000 ВА является использование рабочего инструмента с развитой поверхностью излучения. Рабочий инструмент имеет форму нескольких последовательно соединенных между собой ступенчато-радиальных концентраторов, такая форма рабочего инструмента позволяет в несколько раз увеличить площадь излучения по сравнению с классическими одно- и двух-полуволновыми колебательными системами (рисунок 5).

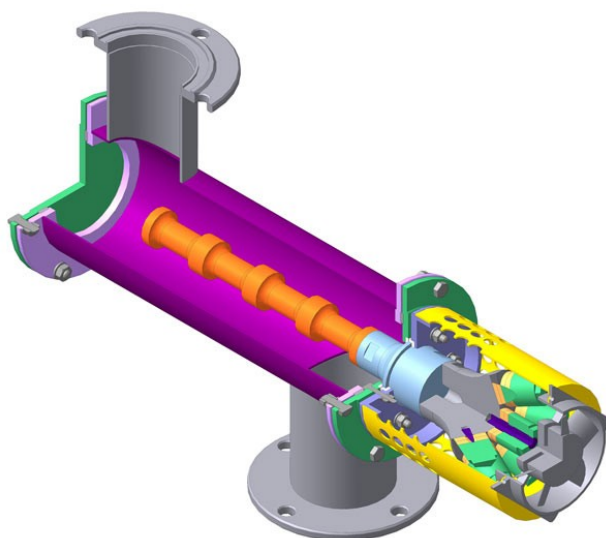
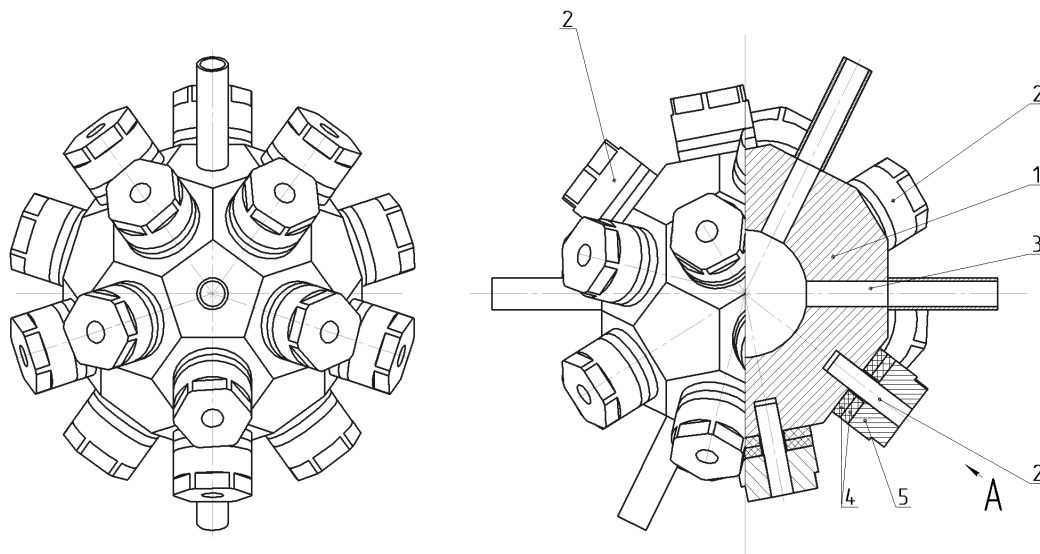


Рисунок 5 – Ультразвуковая колебательная система в технологическом объеме

Для сверх интенсивного воздействия на жидкие среды, перспективной является конструкция ультразвукового химического реактора для проточной обработки, имеющего форму усеченного додекаэдра с расположенными на его шестиугольных гранях пьезокерамическими пакетами. Использование такого

рода конструкции излучателя позволит достичь интенсивности 500 Вт/см^2 [7].



1 - технологический объем, 2 – ультразвуковой преобразователям, 3 – канала для подачи исходных компонентов и отвода продуктов реакции, 4 – пьезоэлектрические элементы, 5 – отражательные частотопонижающие накладки.

Рисунок 6 – Ультразвуковой химический реактор сверхвысокой интенсивности

III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

С помощью созданных аппаратов были проведены экспериментальные исследования по обработке молока и сточных вод ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности.

С помощью аппарата «МУЗА» проводилось исследование влияния ультразвуковых колебаний на вкусовые и биологические характеристики молока, а так же срок хранения. Проведенные исследования показали, что озвученное молоко хранится дольше, чем не обработанное. При этом осемененность молоко снижается с исходных 15000 единиц, до 5000 в конце первого круга обработки и до 1000 в конце третьего круга обработки (таблица 1). Установлено так же, что снижение скорости обработки с 1 л/мин до 0,5 л/мин позволяет существенно сократить количество циклов обработки молока до 1-2, при осеменности в 1000-2000 единиц, без потери вкусовых качеств.

Таблица 1 Результаты ультразвуковой обработки молока

Эксперимент	ОМЧ, ед
Молоко сырое	15000
Молоко 1-й круг 2 минуты	10500
Молоко 1-й круг 5 минуты	7000
Молоко 1-й круг 10 минут	5000
Молоко 2-й круг 2,5 минуты	1000
Молоко 2-й круг 7,5 минут	6500
Молоко 3-й круг 2,5 минуты	2000
Молоко 3-й круг 7,5 минут	1500
Молоко 3-й круг 10 минут	1000

Изменение показателя осеменнености на втором круге обработки связаны с варьированием производительности с 1 л/мин до 0,5 л/мин.

Посев молока производился на среды Кесслера и Кмафанм, производства г. Обнинск, по ГОСТовским методикам.

Обработка сточных вод проводилась аппаратом «Булава», модель 1000-3 (таблица 2), представленные результаты демонстрируют эффективность использования ультразвуковых колебаний для очистки воды.

Таблица 2 – Результаты обработки сточных вод ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности

Параметры воды	вход	выход
рН	7,6	7,7
УЭП	0,102	0,0577
Взвешенные вещества	>2000	122,2
Сухой остаток	612,2	305,6
БПК5	276	15,6
Перманг окисляемость	191,8	18,8
Аммоний	46,5	19,5
Фосфаты	0,95	0,2
Сульфаты	28,9	10,4
АПАВ	3,21	2,23
Нитриты, нитраты, прозрачность		Ниже нормы

Заключение

Представленные практические конструкции позволяют полностью удовлетворить запросы как промышленных предприятий, так и научно-исследовательских организаций. Представленные экспериментальные результаты подтверждают возможность и перспективность использования ультразвуковых технологий как в промышленных установках, так и в лабораторных исследованиях.

Литература

1. Хмелёв В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: научная монография/ Алт. гос. Техн. Ун-т. им. И.И. Ползунова. - Барнаул: изд. АлтГТУ
2. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. "Размерная обработка хрупких и твердых материалов". Барнаул: АлтГТУ, 1999
3. Kenneth S. Suslick. "Sonochemistry" Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Fourth Edition, vol. 26; John Wiley&Sons, Inc.: New York, 1998, pp.516-541
4. Design of Ultrasound Reactors: Choice of Working Conditions and Sound Fields for Precipitation, Particle Fragmentation and Organometal Reactions, Christian Horst, Yuh Shuh Chen, Jost Kruger, Ulrich Kunz, Andreas Rosenplinter and Ulrich Hoffmann, Plenary Lecture.
5. М.Г.Сульман. Влияние ультразвука на каталитические процессы, "Успехи химии", 69(2), 2000, с.178-191.
6. С.Horst, A.Lindermeir, U.Hoffman. Design of ultrasound reactors for technical scale organometallic and electrochemical synthesis, TU Hamburg-Harburg Reports on Sanitary Engineering 35, 2002.
7. Ультразвуковой химический реактор, заявка №2007101744/15 от 29.11.2006