

## УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ПРОТОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Хмелев В.Н. (к.т.н.), Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Лебедев А.Н.

Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

В статье рассмотрены основные конструкции существующих ультразвуковых химических реакторов и выявлены их недостатки, ограничивающие функциональные возможности и снижающие эффективность применения. Предложена и разработана новая конструктивная схема ультразвукового химического реактора. На основе разработанной конструктивной схемы создана серия аппаратов для проточной обработки жидкостей. Проведена серия экспериментов, подтвердивших высокую эффективность разработанных аппаратов.

The article is devoted to the basic ultrasonic chemical reactor constructions and current constructions shortcomings determination, functionality limitation and efficiency decreasing of application. New construction schemes of ultrasonic chemical reactor were proposed and developed. The series of devices for flowing processing of liquid were worked out. Realized experiment shows high efficiency of developed devices.

Развитие современных промышленных предприятий связано с непрерывным наращиванием темпов промышленного производства. Как правило, для этого интенсифицируются или полностью изменяются технологические процессы. Известно, что использование ультразвуковых колебаний высокой интенсивности позволяет интенсифицировать многие технологические процессы, протекающие в жидких, жидко-дисперсных, газообразных и твердых средах, такие как, пропитка композитных материалов, сверление хрупких и особо твердых материалов, растворение, экстрагирование, эмульгирование, мойка и очистка [1,2].

В последнее время проведено большое количество исследований, посвященных влиянию ультразвуковых колебаний на скорость протекания химических реакций. Результаты исследований показывают, что скорость практически всех реакций механо – химического типа увеличивается под воздействием акустического поля. Кроме того, существует большой класс химических реакций, реализуемых только при воздействии ультразвуковых колебаний [3-5].

Основным инициирующим фактором ускорения процессов в ультразвуковом поле высокой интенсивности является кавитация – явление образования и коллапса парогазовых пузырьков в жидкой среде, подвергаемой УЗ воздействию. Парогазовые кавитационные пузырьки характеризуются тем, что температура внутри сжимающегося пузырька достигает 5000 К, давление 1000 атм. Коллапс пузырька происходит со скоростью до 4000 км/ч. При схлопывании такого пузырька создается мощная ударная волна [3].

Для практической реализации принципиальных возможностей явления ультразвуковой кавитации широкое распространение получили несколько типов ультразвуковых реакторов, отличающиеся друг от друга интенсивностью вводимых в жидкость ультразвуковых колебаний и функциональными возможностями (например, возможностью проточной обработки) [4,6].

Самое эффективное ультразвуковое воздействие, из всех известных реакторов, обеспечивают ультразвуковые химические реакторы, представленные на рисунке 1.

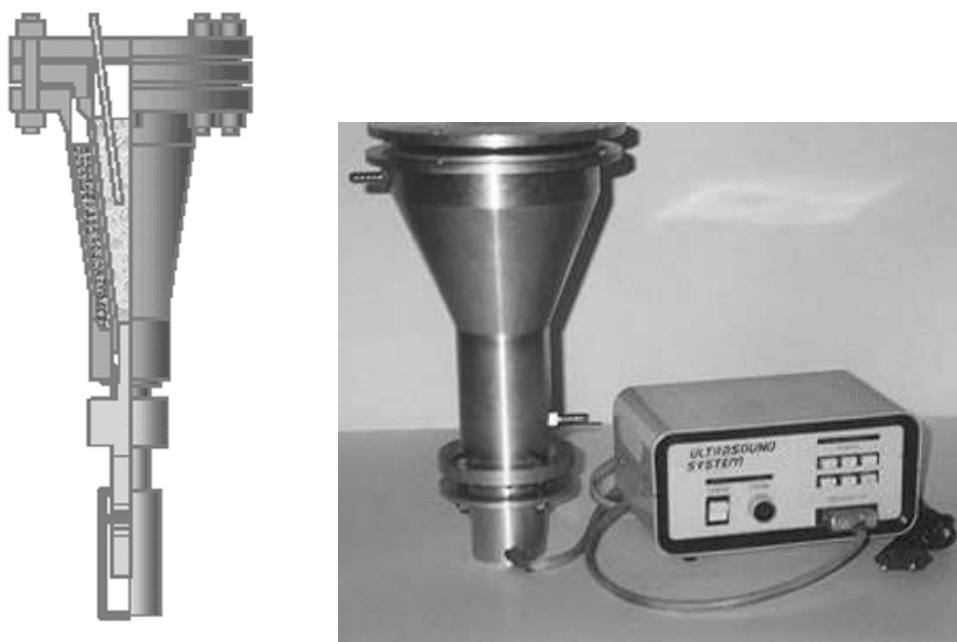


Рисунок 1. Конструкции ультразвуковых реакторов.

Объясняется это тем, что наиболее важным фактором, влияющим на скорость протекания реакций является интенсивность ультразвукового воздействия, а представленные на рисунке 1 реакторы обеспечивают наивысшую интенсивность ультразвукового воздействия (до  $50 \text{ Вт/см}^2$ ).

Экспериментальные исследования и опыт промышленного применения рассмотренного химического реактора позволили выявить следующие существенные недостатки:

1. Уменьшающуюся со временем производительность реактора, что обусловлено дегазацией обрабатываемых жидких компонентов и приводит к уменьшению степени развитости кавитации (уменьшению количества парогазовых кавитационных пузырьков, являющихся инициаторами актов химической реакции);

2. Невозможность обработки вязких сред из-за аномально высокого затухания ультразвуковых колебаний в них, что приводит к обработке только тонких слоев обрабатываемых компонентов вблизи излучающей поверхности преобразователя и эффективной экранировке остального объема;

3. Недопустимость обработки агрессивных сред и растворов, контакт которых с материалом ультразвуковой колебательной системы (УЗКС) не допустим из-за повышенной активности агрессивных сред в УЗ поле;

4. Отсутствие охлаждения колебательной системы, нагревающейся в процессе работы из-за внутренних потерь, что приводит к повышению температуры обрабатываемой среды, во многих случаях это недопустимо.

5. Изменение амплитудно-частотной характеристики УЗКС при повышении ее температуры, выражающееся в уменьшении эффективности преобразования энергии электрических колебаний в ультразвуковые колебания и приводящее к уменьшению энергии вводимых в обрабатываемую среду ультразвуковых колебаний и снижению эффективности УЗ воздействия;

6. Невозможность обработки малых объемов (10-20 мл) дорогостоящих или редких компонентов, что обусловлено конструктивными особенностями реактора, требующими погружения рабочего инструмента в обрабатываемую среду объемом не менее 100-200 мл.

С целью устранения недостатков существующей конструкции ультразвукового химического реактора, в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института был предложена и разработана конструкция

ультразвукового химического реактора, обеспечивающего возможность обработки агрессивных сред, для которых не желательно взаимодействие с материалом концентратора. Созданный реактор обеспечивает высокую производительность за счет повышенной интенсивности ультразвукового воздействия. Выполнение специальных технологических каналов в предложенной конструкции ультразвуковой колебательной системы (центральный и два симметрично расположенных относительно него), обеспечивает подачу газа для поддержания режима развитой кавитации и охлаждение УЗКС. Применение предложенной колебательной системы позволило также расширить функциональные возможности реактора и позволяя интенсифицировать процессы взаимодействия между жидкостями и газами.

Для избежания контакта обрабатываемого раствора с материалом ультразвуковой колебательной системы корпус реактора выполнен в виде двух последовательно установленных и осесимметрично расположенных объемов, разделенных звукопрозрачной мембраной. В таком случае, малый объем, где находится колебательная система, заполняется жидкостью, передающей колебания от УЗКС к мембране, при этом через центральный канал колебательной системы подается жидкость для охлаждения УЗКС.

Такое расположение рабочих объемов позволяет при необходимости проводить высоко эффективную обработку (в тонком слое) малых объемов жидкости в малом объеме реактора.

Использование дополнительного малого объема позволяет проводить проточную обработку жидких сред контакт которых с материалом УЗКС не желателен, но и обрабатывать максимально эффективно вязкие среды, так как обработка осуществляется только вблизи излучающей поверхности. В этом случае, подача жидкости происходит через центральный канал УЗКС и откачка через два боковых канала. Одновременно осуществляется охлаждение колебательной системы.

Внешний вид разработанного ультразвукового химического реактора со схемой движения потоков жидкости при обработке вязких растворов, представлен на рисунке 2.

Таким образом, разработанный ультразвуковой реактор позволяет не только повысить эффективность реализовавшихся ранее процессов (за счет стабилизации производительности процессов благодаря введению нейтральных газов для поддержания кавитации и за счет эффективного охлаждения колебательной системы), но и осуществлять множество дополнительных технологических процессов, не реализовавшихся ранее (проточная обработка в тонком слое, возможность обработки вязких и агрессивных сред, осуществление реакций взаимодействия газов с жидкими средами, взаимодействие нескольких сред, одновременно подаваемых в зону обработки через каналы колебательной системы).

Для промышленного использования наиболее логичным вариантом можно считать создание специализированных аппаратов предназначенных для решения конкретных технологических задач. В такого рода аппаратах не требуется универсальность предусмотренная в ультразвуковом химическом реакторе, за счет чего достигается простота конструкции и снижение стоимости аппарата.

Примером такого рода стала разработка серии аппаратов «Поток» и «МУЗА» для проточной ультразвуковой обработки жидкостей, рисунки 3 и 4, обеспечивающие производительность до 10 л/мин.

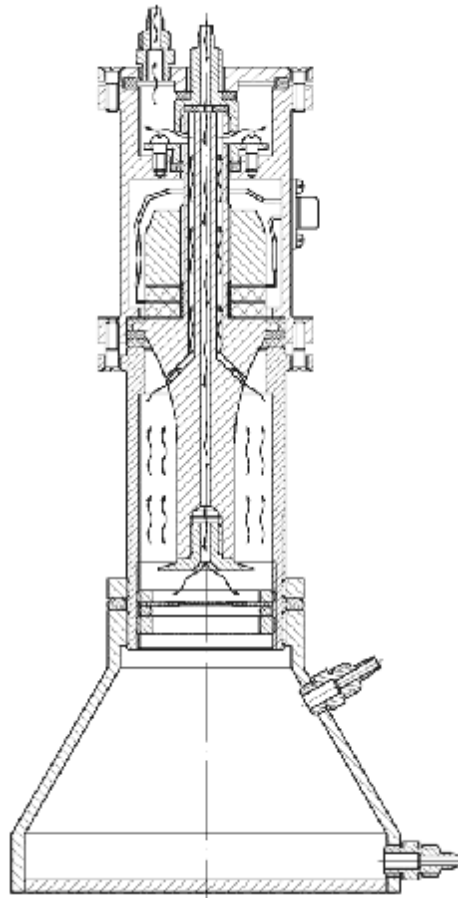


Рисунок 2. Ультразвуковой химический реактор

Возможность практического применения и эффективность таких аппаратов обусловлена тем, что ультразвуковая обработка многих жидких пищевых продуктов (молоко, соки, экстракты, бульоны, шоколад и др.) способствует улучшению их питательных свойств и увеличивает сроки их хранения.

Проведенные ранее исследования позволили установить, что ультразвуковая обработка молока повышает его питательную ценность почти на треть (за счет гомогенизации жировой эмульсии). При такой обработке, одновременно происходит стерилизация молока. Но существовавшие до настоящего момента аппараты, например фитомиксер “Алёна” [1], позволяли производить обработку молока только небольшими порциями. Поэтому, дальнейшим развитием ультразвукового химического реактора стала разработка аппарата для проточной обработки жидких сред для нужд сельского хозяйства, например молока, соков, получения эмульсий.



Рисунок 3. Аппарат для проточной ультразвуковой гомогенизации и стерилизации молока «МУЗА»-0.2-22-М.



Рисунок 4. Аппарат для проточной ультразвуковой обработки жидких сред "Поток"-0.4/22, на базе стандартного генератора «Волна».

Проведенные с разработанными аппаратами экспериментальные исследования позволили показать, что обработанное в проточном реакторе молоко хранится на несколько суток дольше, чем не обработанное. При этом обсемененность молока снижается при обработке аппаратом «МУЗА»-0.2-22-М мощностью 200 Вт при скорости потока 1...2 л/мин в 3-4 раза, а при снижении скорости обработки до 0,5 л/мин в 10-12 раз без потери вкусовых качеств

При обработке аппаратом "Поток"-0.4/22 мощностью 400 Вт обсемененность молока снижается в 3-4 раза при скорости потока до 10 л/мин, в 10-12 раз при снижении скорости обработки до 2-3 л/мин без потери вкусовых качеств. Экспериментальные исследования с молоком, характеризуемым максимальной сложностью стерилизации в ультразвуковом поле, позволили подтвердить высокую эффективность ультразвуковой обработки.

В результате проведенной работы были предложены и разработаны:

- ультразвуковой химический реактор;
- серия ультразвуковых аппаратов для проточной обработки химических и биологических веществ,

В созданных практических конструкциях улучшены технические характеристики и расширены функциональные возможности ультразвукового химического реактора применительно к обработке вязких веществ, растворов, не допускающих взаимодействия с материалом концентратора.

При эксплуатации изготовленного реактора удалось обеспечить высокую и стабильную производительность проводимых процессов за счет введения инертного газа для поддержания развитой кавитации и эффективного охлаждения колебательной системы;

Проведенные эксперименты позволили подтвердить высокую эффективность разработанных аппаратов и рекомендовать их для промышленного применения в пищевой, химической и биологической промышленности.

### *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 Encyclopdedia of Chemical Technology, Fourth Edition, vol. 26; John Willey&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 Кръгер, Ulrich Kunz,Andreas Rosenpldnter and Ulrich Hoffmann, Plenary Lecture.

5.М.Г.Сульман. Влияние ультразвука на каталитические процессы, "Успехи химии", 69(2), 2000, с.178-191.

6.C.Horst, A.Lindermeir, U.Hoffman. Design of ultrasound reactors for techical scale organometallic and electrochemical synthesis, TU Hamburg-Harburg Reports on Sanitary Engineering 35, 2002.