

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ЭМУЛЬСИЙ И СУСПЕНЗИЙ

Лузгин В.И. канд. техн. наук, Коптяков А.С. аспирант

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Шестовских А.Е. инж., Петров А.Ю. канд. техн. наук

ООО «РЭЛТЕК»

Ультразвуковые технологии получения эмульсий несмешиваемых естественным способом жидкостей является перспективным направлением производства нанодисперсных материалов с уникальными физико-химическими свойствами.

Эмульсии растворимых жидкостей находят широкое применение в промышленности при получении водо-топливных эмульсий для двигателей внутреннего сгорания, водомазутных эмульсий для использования в качестве охлаждающих, смазывающих жидкостей и топлива котлоагрегатов; водожировые эмульсии для получения пищевой, фармакологической, парфюмерной продукции, а также в ряде технологий химической промышленности. Они обладают уникальными физико-химическими свойствами, их качество существенно зависит от степени дисперсности и гомогенности состава. Высокими качественными показателями и устойчивостью к расслоению обладают только нанодисперсные эмульсии, получение которых без применения присадок и поверхностно-активных химических веществ возможно методами ультразвукового высокоэнергетического воздействия при создании разветвленной кавитации в среде несмешиваемых естественным способом жидкостей.

Процесс образования и схлопывания парогазовых пузырьков при воздействии ультразвука на жидкую среду принято называть кавитацией. Газы и пар внутри пузырьков сжимаются, интенсивно выделяя тепло, за счет которого температура вблизи схлопнувших пузырьков может достигать 3000-5000 °С, а давление – до 300 МПа. Эффективность технологического процесса в жидкостях под действием ультразвука (разрушение поверхностных пленок, ультразвуковое эмульгирование и диспергирование, ультразвуковая очистка и др.) обусловлены, в основном,

максимальным давлением и температурой пара и газа в полости (пузырьке) на конечной стадии схлопывания.

При получении водных эмульсий и суспензий ультразвуковыми технологиями вода под действием кавитации расщепляется на высокореакционноспособные атомы водорода (H) и радикалы гидроксида (OH). На быстрой стадии охлаждения атомы водорода и радикалы гидроксида рекомбинируются с образованием перекиси водорода (H_2O_2) и молекулярного водорода (H_2). Если к воде, облученной ультразвуком, добавить другие соединения, то в них могут происходить многие вторичные реакции. Органические соединения интенсивно разлагаются в такой среде, а неорганические – могут окисляться или восстанавливаться. Этими явлениями объясняется широкое применение воды в ультразвуковых технологиях [1-3].

В зависимости от области применения и назначения эмульсии и суспензии должны обладать соответствующими характеристиками и физико-химическими свойствами. Так, дисперсии, которые используются непосредственно после изготовления, и к которым нет жестких требований по дисперсности состава, могут изготавливаться по упрощенной технологии с применением гидродинамических преобразователей [4]. Такие эмульгирующие устройства просты в изготовлении и эксплуатации, позволяют достигать больших производительностей продукта, однако качество продукта далеко не всегда удовлетворяет требованиям технологических процессов, в которых используются данные дисперсии. Их дисперсность не высока и составляет десятки и сотни микрометров.

Обратные наноэмульсии можно получить технологией ультразвукового эмульгирования, которая обеспечивает переход одной из взаимно нерастворимых жидкостей в дисперсное состояние в среде другой под действием акустических течений и кавитации. Ультразвуковой способ эмульгирования позволяет получить высококачественную, устойчивую, практически монодисперсную наноэмульсию. Дисперсность такой эмульсии может достигать 100 и менее нанометров.

Второе направление ультразвуковых технологий – это ультразвуковое диспергирование, предназначенное для получения наносуспензий путем тонкого размельчения твердых веществ в жидкой среде, т.е. переход твердых веществ в

дисперсное состояние под действием кавитационной эрозии, вызванной акустическими колебаниями. Ультразвуковое диспергирование позволяет получать высокодисперсные (эквивалентный диаметр частиц – доли микрометра), однородные и химически чистые наносuspensions и нанопорошки.

Кавитационная обработка жидкостей производится в резонансных камерах, размеры рабочего объема которых подобраны таким образом, что на длине ее окружности укладывается две длины волны, что и обеспечивает резонансный режим работы с повышенной интенсивностью обработки жидкости. Конструктивно в ультразвуковой установке УЗВД-6 [5,6] камера выполнена в виде цилиндрической трубы, к одному из концов которой закреплен герметично волновод, передающий ультразвуковые колебания в жидкую среду от магнитострикционного преобразователя.

В современных ультразвуковых установках передача механических колебаний в жидкость обеспечивается непосредственно волноводами-концентраторами, возбуждаемых пьезокерамическими преобразователями [7,8]. При непосредственном вводе волновода-концентратора в жидкую среду размеры стенок рабочей камеры выбираются такими, чтобы создавался резонансный режим самой обрабатываемой жидкости в этих полостях и увеличивалась разветвленность кавитации.

Известно, что поддерживая определенное соотношение между статическим и акустическим давлениями в рабочей камере, можно управлять процессами кавитации, плавно изменяя интенсивность воздействия ультразвукового поля на обрабатываемые жидкости и suspension. Ступенчатое изменение интенсивности воздействия можно достичь, меняя размер резонансных кавитационных пузырьков путем перехода на другие частотные диапазоны, выделенные нормативными документами для технологических целей. В этом случае конструкция установки должна предусматривать смену акустического звена для получения требуемой частоты обработки.

Эффективным методом интенсификации ультразвуковых процессов является наложение двух кратных по частоте акустических полей, возбуждаемых в рабочей камере. Периодические резонансные биения, возникающие от наложения акустических волн кратных частот, вызывают всплески амплитуд локально

избыточного давления, пропорционально квадрату которого возрастает акустическая интенсивность обработки жидкости. Возрастание пиковых значений локального избыточного давления существенно ускоряет процессы эмульгирования и диспергирования без увеличения установленной мощности ультразвукового оборудования [9,10].

На рис. 1 приведена конструктивная схема двухчастотного электроакустического эмульгатора, в которой реализуется эффект сложения радиального и аксиального акустических полей кратных частот.

В эмульгаторах и диспергаторах проточного типа, в которых возбуждаются продольные акустические волны, наиболее эффективный резонансный режим обработки среды должен обеспечиваться правильным выбором длины рабочей камеры. Соблюдение этих условий приводит к интерференции падающей и отраженной волн. В результате суперпозиции в рабочей камере формируется режим стоячей волны. Для незатухающих колебаний амплитуда стоячей волны определяется выражением:

$$A_c = 2A \cos \frac{2\pi \cdot r}{\lambda}, \quad (1)$$

где A_c – амплитуда стоячей волны;

A – амплитуда бегущей волны;

$r = L$ – текущее значение координаты, в частном случае, равное длине рабочей камеры;

λ – длина волны в обрабатываемой среде.

Связь амплитуды колебаний среды и интенсивности для стоячей волны выражается соотношением:

$$I = \frac{1}{2} \omega^2 \cdot (2A)^2 \cdot \rho \cdot c, \quad (2)$$

где I – интенсивность выделения энергии;

ω – круговая частота ультразвуковой волны;

$A_c = 2A$ – амплитуда колебаний стоячей волны (амплитуда колебаний среды);

ρ – плотность среды;

c – скорость волны в среде.

Из выражения (1) следует, что в системах без потерь амплитуда колебаний среды в режиме стоячей волны в два раза превышает амплитуду бегущей волны.

Из выражений (1) и (2) следует, что при резонансном режиме обработки среды интенсивность обработки увеличивается более чем в четыре раза. Следовательно, обеспечение резонансного режима работы всех звеньев акустической цепи ультразвуковой установки не только повышает ее КПД, но и интенсивность обработки эмульсий и суспензий.

При обработке эмульсий, особенно при обработке водно-органических суспензий, следует стабилизировать температурный режим обрабатываемой жидкости, поскольку при высоких температурах эффективность обработки снижается, а органические соединения могут разлагаться, увеличивая потери конечного продукта. Для ряда технологических процессов оптимальной температурой среды считается (60-65) °С. Поэтому конструкцией эмульгатора должна быть предусмотрена эффективная система охлаждения обрабатываемой жидкости. При мощных акустических полях решить эту проблему довольно сложно, так как ультразвуковая энергия выделяется в объеме обрабатываемой среды, а теплоотдача осуществляется только от стенок рабочей камеры, материал которой, как правило, имеет низкую теплопроводность.

Вторая проблема при проектировании эмульгаторов и диспергаторов заключается в том, что интенсивность процессов эмульгирования и диспергирования ограничивается усталостной прочностью металла, из которого изготавливаются излучающие поверхности и кавитационной эрозией этих поверхностей. Поэтому рабочие камеры необходимо изготавливать из кавитационно-стойких сталей и сплавов, используя фокусировку акустических полей. Снижение процесса эрозии излучающих поверхностей позволяет также повысить чистоту получаемого продукта – эмульсии/суспензии.

Предприятием "РЭЛТЕК" изготовлен опытный образец двухчастотного эмульгатора-диспергатора, общий вид которого приведен на рис. 2.

Разработанный эмульгатор-диспергатор типа УЗЭД-5-9/5-18 комплектуется магнитострикционным преобразователем стержневого типа ПМС-5-18, кольцевым магнитострикционным преобразователем КМС-5-9 и ультразвуковым генератором

модульного исполнения УЗГМ-10-22 МС. Каждый преобразователь питается от своего модуля, которые обеспечиваю необходимый режим работы преобразователей, включая автоматическую подстройку резонансной частоты.

Элементы конструкции стержневого магнитострикционного преобразователя мощностью 5 кВт, частотой 18 кГц приведены на рис. 3. Он состоит из магнитопровода с обмотками акустического концентратора для передачи механических колебаний на рабочую поверхность и цилиндрического бачка, через который подается охлаждающая жидкость.

Магнитопровод выполнен в виде пакета тонких листов пермендюра (сплав железа и кобальта), обладающего высокой магнитострикционной деформацией при воздействии магнитного поля. При протекании высокочастотного тока по обмоткам возникают механические колебания торца магнитопровода повышенной амплитуды, которые передаются через акустический концентратор на рабочую поверхность камеры.

Характеристики магнитострикционного преобразователя ПМС-5-18

Напряжение питания, В	- 440±44
Частота колебаний, кГц	- 18±1,35
Мощность электрическая, кВт	- 5±0,4
Ток поляризации, А	- 15±6
Амплитуда смещения, не менее, нкм	- 12±3

Элементы конструкции кольцевого магнитострикционного преобразователя КМС-5-9 приведены на рис. 4.

Характеристики КМС-5-9:

Напряжение питания, В	±44(660)
	±0,5
	±5
	±6
	±0,5
	÷260

Излучающий конец акустического концентратора стержневого преобразователя герметично соединен с внутренней полостью трубы рабочей камеры и может при помощи специального устройства перемещаться вдоль трубы на некоторое устройство, изменяя объем и длину рабочей камеры. Излучающая поверхность концентратора выполнена вогнутой, сферической.

Ступенчатый переход от одной технологической частоты продольных колебаний на другую может осуществляться сменой акустического звена, в состав которого входит концентратор и магнитострикционный преобразователь стержневого типа.

Второй конец трубы рабочей камеры закрыт съемной крышкой, на которой могут быть установлены проточные штуцеры, штуцер подачи газа для создания статического давления и другой оборудование. Оба преобразователя помещены в бачки для охлаждения жидким хладагентом, например, водой или антифризом.

Принцип работы преобразователей основан на эффекте магнитострикции. Благодаря магнитострикционной деформации магнитопровод кольцевого преобразователя передает в обрабатываемую среду через стенку рабочей камеры радиальные механические колебания. Интенсивность ультразвуковых волн возрастает к центру трубы, и акустическое поле фокусируется в осевой линии рабочей камеры.

Концентратор стержневого преобразователя создает в обрабатываемой среде продольные ультразвуковые волны, которые направлены перпендикулярно к плоскости цилиндрических волн, создаваемых кольцевым преобразователем. Акустическое поле продольных волн частично сфокусировано к центру рабочей камеры. Фокусировка акустических полей позволяет снизить кавитационную эрозию излучающих поверхностей и концентрирует мощную энергию в локальном объеме рабочей камеры.

Благодаря наложению акустических полей с двумя резонансными частотами в жидкости образуются кавитационные пузырьки с различными эквивалентными диаметрами. Чем ниже частота акустического поля, тем крупнее в жидкости формируются полости разрежения – парогазовые пузырьки и тем больше они выделяют энергии при схлопывании. При эмульгировании жидкости

высокоэнергетические пузырьки разрушают прочные межмолекулярные связи, укорачивая молекулярные цепочки, и формируют условия для дальнейшего разрушения ослабленных межмолекулярных связей кавитационными пузырьками меньшего размера. Аналогичные процессы происходят при диспергировании. Более крупные пузырьки, обладая повышенной энергией, деформируют крупные частицы твердой фракции суспензии. Более мелкие пузырьки, проникая в эти дефектные полости и микротрещины частиц, диспергируют их. Таким образом, ускоряются процессы эмульгирования и диспергирования в жидкостях.

Кроме этого, в камере двухчастотного эмульгатора возникают биения, приводящие к резкому мгновенному возрастанию амплитуды колебаний, что, наряду с увеличением интенсивности обработки, усиливает турбулентность акустических течений, способствующих перемешиванию жидкостей.

Применение в эмульгаторе/диспергаторе мощного ультразвукового двухчастотного поля в сочетании его с повышенным статическим давлением в рабочей камере показало целесообразность использования ультразвукового метода обработки жидкости в промышленных масштабах, подтвердило его эффективность, наряду с другими методами эмульгирования и диспергирования.

Оценка эффективности ультразвукового кавитационного метода получения нанодисперсных эмульсий, производилась на примере эмульгирования смеси: 80% растительного масла и 20% воды.

Обработка данной смеси производилась в акустической камере двухчастотного ультразвукового эмульгатора УЗЭД-5-9/5-18 при избыточном статическом давлении в камере 0,4 МПа в течение 5 минут. Структурный анализ полученной водо-масляной эмульсии производился спектральным методом на приборе "Malvern".

По результатам измерений зарегистрирована полидисперсность эмульсии с размером частиц 114 ± 21 нм, что подтверждает эффективность ультразвукового метода обработки водо-масляных смесей для получения нанополидисперсных эмульсий. Данная эмульсия используется в пищевой промышленности при выпечке хлебобулочных изделий в качестве антипригарного средства.

Ультразвуковая установка УЗЭД-5-9/5-18 может найти широкое применение в промышленности как эффективное средство получения нанодисперсных эмульсий и

суспензий как в режиме порционной обработки жидкости в рабочей камере, так и в проточном режиме обработки больших объемов жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы физики и техники ультразвука. Учебное пособие для вузов / Б.А. Агранар, М.Н. Дубровин, Н.Н. Ховский и др.- М. Высшая школа, 1997.- 352 с.
2. Моргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминисценция.- М.: Химия, 1986.-288 с.
3. Немчин А.Ф. Новые технологические эффекты тепломассопереноса при использовании кавитации // Промышленная теплотехника.- 1997.- Т.19, №6, -С.39-47.
4. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика.- М. Машиностроение-1, 2001.- 260 с.
5. Ультразвуковые электротехнологические установки / А.В. Донской, О.К. Келлер, Г.С. Кратыш.- 2-е изд. перераб. и доп. –Л. Энергоатомиздат Лен. отделения. 1982. -208 с.
6. Ультразвуковая технология / Под ред. Б.А. Аграната. М.: Металлургия, 1974, 504 с.
7. Мощный ультразвук в металлургии и машиностроении / Под ред. О.В. Абрамова и М.В. Приходько. М.: Янус-К, 2006, 688 с.
8. Ultrasonic high-power reactor / Telsonic AG. E-mail: Telsonic.com
9. Патент РФ № 2284215. Кольцевой магнитострикционный преобразователь / Шестовских А.Е., Петров А.Ю., Лузгин В.И., Кандалинцев Б.А. Опубликовано 27.09.2006, бюл. № 27.
10. Патент РФ № 2284216. Ультразвуковая установка / Шестовских А.Е., Петров А.Ю., Лузгин В.И., Кандалинцев Б.А. Опубликовано 27.10.2006, бюл. № 30.

Шестовских Александр Егорович

Год рождения 1942.

Домашний адрес: 620144 Екатеринбург Шейнкмана 134 кв 5

ООО «РЭЛТЕК»

Главный инженер проектов ультразвукового оборудования

Дом. Тел.: (343) 203-07-45

Тел./факс: (343) 379-43-50
E-mail: reltec@reltec.biz

Лузгин Владислав Игоревич

Год рождения – 1951.

Домашний адрес: [620078](tel:620078), г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, д.78, кв.17.

ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, кафедра техники высоких напряжений.

Ученая степень – кандидат технических наук.

Ученое звание – доцент.

Домашний телефон: (343) 228 23 41.

Тел./факс (343)374 52 30.

E-mail: vil-26@el.ru

Петров Александр Юрьевич

Год рождения 1961.

Домашний адрес: 620027 г. Екатеринбург, ул. Никонова, д. 25, кв. 12,
ООО «РЭЛТЕК»

Председатель совета директоров группы компаний ООО «РЭЛТЕК»

Дом. Тел.: (343) 379-43-50

Тел./факс: (343) 379-43-50

E-mail: reltec@reltec.biz

Коптяков Александр Сергеевич

Год рождения -1991.

Домашний адрес: 620049,г. Екатеринбург, ул. Лодыгина, д. 11, кв. 65.

ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, кафедра техники высоких напряжений.

Ассистент, аспирант кафедры "Техника высоких напряжений"

Телефон/факс: (343) 374-52-30

Подписи к рисункам статьи

Ультразвуковое оборудование для получения нанодисперсных эмульсий и суспензий. Лузгин В.И., Контяков А.С., Шестовских А.Е., Петров А.Ю.

Рис. 1. Ультразвуковой эмульгатор/диспергатор УЗЭД-5-9/5-18, где: 1 – Рабочая камера; 2 – Стенка (труба) рабочей камеры; 3 – Магнитопровод (магнитострикционный пакет) кольцевого преобразователя; 4 – Концентратор стержневого преобразователя; 5 – Стержневой магнитострикционный преобразователь; 6 – Штуцеры подачи и отвода обрабатываемой жидкости; 7 – Штуцер подачи газа; 8 – Направление распространения продольных бегущих волн, создаваемых стержневым преобразователем; 9 – Направление распространения цилиндрических волн, создаваемых кольцевым преобразователем; 10 – Уплотнительное кольцо; 11 – Направление распространения отраженной

волны; 12 – Съемная крышка; 13 – Штуцер бачка охлаждения кольцевого преобразователя; 14 – Бачок охлаждения кольцевого преобразователя; 15 – Уплотнительное кольцо; 16 – Бачок охлаждения стержневого преобразователя.

Рис. 2. Стержневой магнитострикционный преобразователь

Рис. 3. Ультразвуковая установка УЗЭД-5-9/5-18

Рис. 4. Кольцевой магнитопровод с обмотками

Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4

Аннотация

В статье описаны ультразвуковые излучатели большой мощности, осуществляющие обработку несмешиваемых жидкостей и твердых порошковых материалов при высокоэнергетическом акустическом воздействии. Приведены результаты разработки и конструирования магнестрикционных преобразователей и установок для получения нанодисперсных эмульсий и суспензий. Показана эффективность получения нанодисперсных эмульсий ультразвуковым методом на примере получения водо-масляных эмульсий.

Abstract

This article describes an ultrasonic emitters high power engaged in the processing of immiscible liquids and solid powder materials with high-energy acoustic impact. The results of the development and design of magnetostrictive transducers and systems for obtaining nanosized emulsions and suspensions. The efficiency of obtaining nanosized emulsions by ultrasound at the example of a water-in-oil emulsions.

Ключевые слова

Ультразвуковые технологии, магнитострикционные преобразователи, ультразвуковые генераторы. нанодисперсные эмульсии.

Keywords:

Ultrasonic technology, magnetostriction transducers, ultrasonic generators. nanosized emulsions.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ЭМУЛЬСИЙ И СУСПЕНЗИЙ

ULTRASONIC EQUIPMENT FOR OBTAIN NANOSIZED EMULSIONS AND SUSPENSIONS

РЕФЕРАТ

Производится описание физико-химических процессов в жидкостях и суспензиях при воздействии на эти среды мощным ультразвуком.

Рассмотрены вопросы интенсификации процессов эмульгирования и диспергирования с применением ультразвуковых технологий. Одним из методов интенсификации этого процесса является наложение двух кратных по частоте акустических полей и обеспечение режима стоячих волн в рабочей камере эмульгатора-диспергатора.

Рассмотрены проблемы при проектировании ультразвукового оборудования и приводятся рекомендации по оптимизации геометрических размеров рабочей камеры и фокусировке акустических полей.

Приводится описание опытного образца двухчастотного эмульгатора/диспергатора, построенного на базе стержневого и кольцевого ультразвуковых магнитострикционных преобразователей. Описаны элементы конструкции стержневого и кольцевого магнитострикционных преобразователей, требуемые режимы работы.

The description of physico-chemical processes in liquids and suspensions when exposed to these environments powerful ultrasound.

Issues of intensification of the processes of emulsification and dispersion using ultrasonic technology. One of the methods of intensification of this process is the superposition of two multiples of the frequency acoustic fields and ensuring conditions coincident waves in the work chamber of the emulsifier-disperser.

Considered problems in the design of ultrasonic equipment and provides recommendations for optimizing the geometric dimensions of the work chamber and focusing of acoustic fields.

The description of a developmental prototype dual-frequency emulsifier/disperser, built on the base of the rod and the annular ultrasonic magnetostriction transducers. Described structural elements of the rod and annular magnetostriction transducers and the required modes of operation.