

Эффективность ультразвуковой обработки жидких сред через стенку пробирки

Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Ильченко Е.В., Шакура А.В.

Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Аннотация – Статья посвящена исследованию возможности и эффективности ультразвуковой обработки жидких сред через стенку пробирки. Такая обработка призвана обеспечить кавитационное воздействие без внесения в стерильную обрабатываемую среду металлических излучателей. Показано, что даже при использовании излучения схлопывающихся кавитационных пузырьков в окружающей пробирку воде, их энергии достаточно, чтобы создавать кавитационное воздействие на различные обрабатываемые среды внутри пробирки.

Ключевые слова – ультразвуковое воздействие, кавитационное воздействие, лабораторное ультразвуковое оборудование.

I. ВВЕДЕНИЕ

ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ происходит кавитационное разрушение излучающей поверхности источника колебаний. Причем чем больше интенсивность, тем больше кавитационный износ. При этом продукты разрушения попадают в обрабатываемую технологическую среду [1, 2].

Так как рабочий инструмент ультразвукового аппарата выполнен из титанового сплава, то в большинстве случаев продукты кавитационного износа химически нейтральны по отношению к обрабатываемым материалам. Однако, во многих случаях качество конечного продукта изменяется, что исключает возможность реализации в таких случаях ультразвукового воздействия [3].

Кроме того, в ряде случаев, требуется «чистое» ультразвуковое воздействие, исключающее наличие контакта стерильной обрабатываемой среды с окружающей. Особенно это важно при ультразвуковой кавитационной обработке химически или биологически чистых веществ [4]. Практически, такая разработка требует создания условий изоляции рабочего инструмента ультразвукового аппарата от обрабатываемой среды при создании в ней кавитации. Конструктивно это может быть достигнуто только за счет использования промежуточной звукопроводящей

среды, способной отделить излучатель физически и передать колебания в обрабатываемую среду.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Ультразвуковой аппарат для кавитационного воздействия на обрабатываемую среду, находящуюся в пробирке, представлен на рисунке 1.

Источником ультразвукового воздействия является пьезоэлектрическая ультразвуковая колебательная система, питаемая специальным электронным генератором. Рабочий инструмент ультразвуковой колебательной системы, выполняемый в виде полого цилиндра, создает кавитационное воздействие в промежуточной жидкой среде, находящейся между внутренней стенкой инструмента и внешней стенкой, помещенной в инструмент, стеклянной пробирки. Создаваемые колебания и схлопывающиеся воздушные пузырьки создают кавитационный шум широкого спектра и приводят в колебательные движения стенки пробирки. Они становятся источником колебаний для обрабатываемой среды, расположенной внутри пробирки.



Рисунок 1 – Ультразвуковой аппарат для лабораторных исследований «Волна-Л» УЗТА-0,63/22-0Л

Такой подход позволяет, во-первых, осуществить кавитационное воздействие на обрабатываемую среду, находящуюся в пробирке; во-вторых, исключить проникновение следов кавитационного износа

рабочего инструмента внутрь пробирки и исключить нарушение стерильности обрабатываемого внутри пробирки материала.

При проведении экспериментальных исследований необходимо знать не только качественные, но и количественные значения энергетического воздействия. Поэтому дальнейшие исследования были посвящены оценке значений и эффективности ультразвукового воздействия при кавитационной обработке в пробирках.

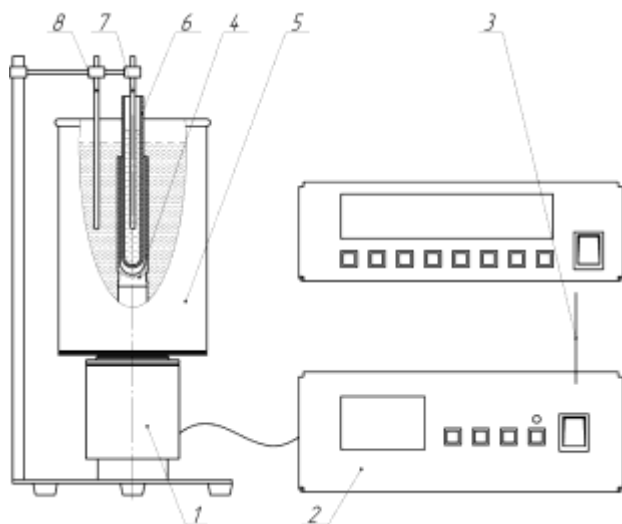
III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Известно, что наиболее доступным и пригодным для определения полезной акустической мощности ультразвуковых установок, предназначенных для работы в жидких и жидкодисперсных средах, является калориметрический метод [5, 6]. Методика проведения измерений основана на практической реализации калориметрического метода, стандартизованного Международной электротехнической комиссией [7]. Процедура измерения акустической мощности заключается в ее косвенной оценке по степени нагрева $D_T=t_2-t_1$ жидкой среды в теплоизолированном объеме V , с известной теплоемкостью жидкости C и ее плотностью ρ по следующей формуле (1):

$$P = C\rho VD_T/t \quad (1)$$

где t - время УЗ обработки жидкости находящейся в измерительном объеме.

Измерительная установка представлена на рисунке 2.



1 – ультразвуковая колебательная система, 2 – электронный генератор, 3 – измеритель GW Instek GPM-8212, 4 – рабочий инструмент, 5 – внешний технологический объем, 6 – пробирка, 7 и 8 – термометры

Рисунок 2 – Измерительная установка

Абсолютная погрешность термометров не превышала $0,1^\circ\text{C}$, секундомера - $0,5$ с. Таким образом, относительная погрешность измерений не превышала

10%. Предварительно, перед ультразвуковым воздействием, измерялась начальная температура внутри измеряемой емкости t_1 . Ультразвуковое воздействие осуществлялось в течение короткого промежутка времени t – от 20с до 60с.

В ходе исследований предполагалось, что вся акустическая энергия переходит в тепловую, поэтому измерялась конечная температура t_2 , которая позволяла вычислять величину акустической мощности по формуле (1). Для оценки коэффициента полезного действия электрическая энергия, потребляемая электронным генератором из сети, измерялась при помощи измерителя GW Instek GPM-8212. Измеритель позволял измерить как активную, так и реактивную потребляемую мощность. Измеренные значения мощности использовались для нахождения коэффициента полезного действия.

IV. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Созданная измерительная установка позволила оценить эффективность ультразвукового воздействия на жидкость через стенки пробирки.

Калориметрическим методом измерялась акустическая мощность, вводимая ультразвуковым аппаратом, в следующих точках:

- внутри внешнего технологического объема;
- внутри рабочего инструмента;
- внутри пробирки.

При измерении акустической мощности внутри рабочего инструмента, он был полностью заполнен жидкостью, также жидкость присутствовала во внешнем технологическом объеме. Уровень этой жидкости был ниже уровня свободного торца рабочего инструмента. Для измерения акустической мощности использовались пробирки, изготовленные из стекла и пластмассы. При этом внутри рабочего инструмента и внешнего технологического объема находилась жидкость. Причем уровень жидкости был выбран таким, чтобы исключить перемещение жидкости из полости рабочего инструмента во внешний технологический объем и наоборот. Пробирки располагались на подвесе и не касались внутренних стенок рабочего инструмента.

Результаты измерений усреднялись и приведены в таблице 1

ТАБЛИЦА I
Результаты измерений

п/п	Точка измерения	Акустическая мощность, Вт	Объемная интенсивность, Вт/см ³
1	Во внешнем технологическом объеме	172,5±4,5	0,09-0,11
2	Внутри рабочего инструмента	27,9±2,0	0,95-1,0
3	Внутри стеклянной пробирки	5,9±0,5	0,3-0,4

4	Внутри пластмассовой пробирки	$6,7 \pm 0,5$	0,4-0,5
---	-------------------------------	---------------	---------

Стоит заметить, что, поскольку рабочий инструмент изготовлен из титанового сплава VT5, в измерениях присутствует погрешность, связанная с теплопередачей через его стенку во внешний технологический объем. Этим же объясняется малое значение измеренной акустической мощности в стеклянной и пластиковой пробирках.

Потребляемая аппаратом электрическая мощность, при проведении измерений, была в пределах 310-320 Вт. С учетом акустической мощности, введенной во внешний технологический объем и во внутрь рабочего инструмент, а общий КПД аппарата составил 64%. Однако, если учитывать только ввод акустической энергии в рабочий инструмент, то КПД снижается до 10%. КПД аппарата был вычислен как отношение акустической мощности, вводимой в заданную жидкую среду, к потребляемой активной мощности аппаратом из электрической сети.

Следует понимать, что это значения является значительно заниженным, так как происходит теплопередача во внешний объем в процессе ультразвукового воздействия.

Для иллюстрации эффективности ультразвуковой обработки жидкости внутри пробирки была проведена серия экспериментов по получению водной эмульсии различных масел. Используемые масла отличались разными коэффициентами поверхностного натяжения. Следовательно, условия для получения эмульсий также отличались. Для создания одинаковых условий кавитационного воздействия в пробирке температура промежуточной жидкости внутри рабочего инструмента и внешнего технологического объема поддерживалась постоянной. Ее изменения составили $\pm 10^\circ\text{C}$.

На рисунке 3 приведены результаты ультразвукового воздействия при получении эмульсии подсолнечного масла в воде. Гидромодуль составил 1:10.

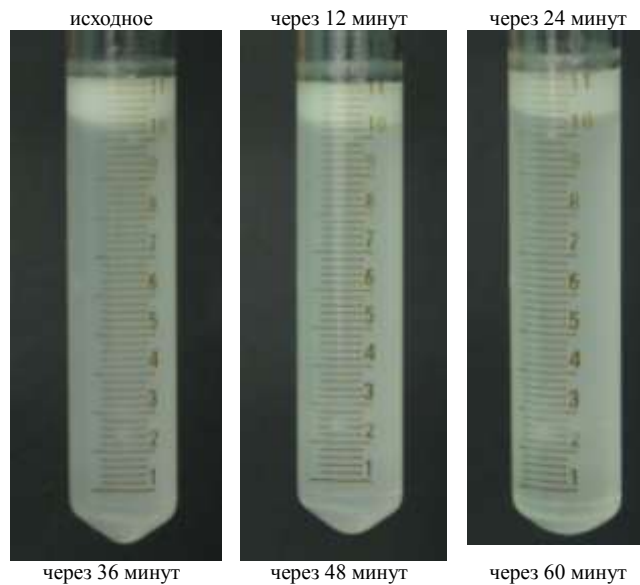
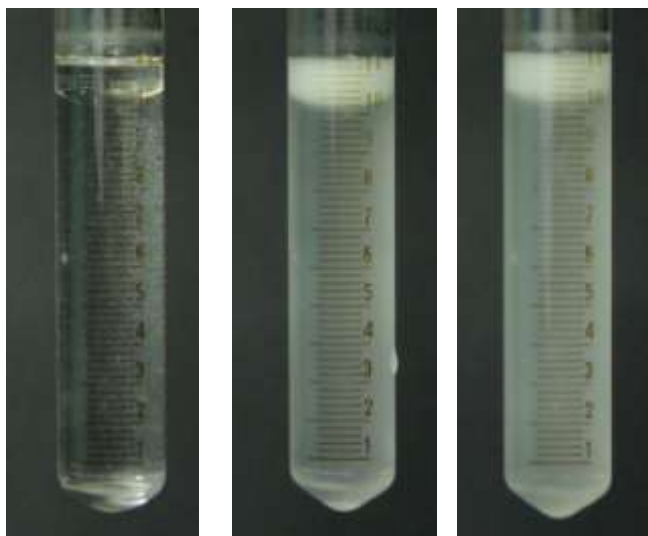
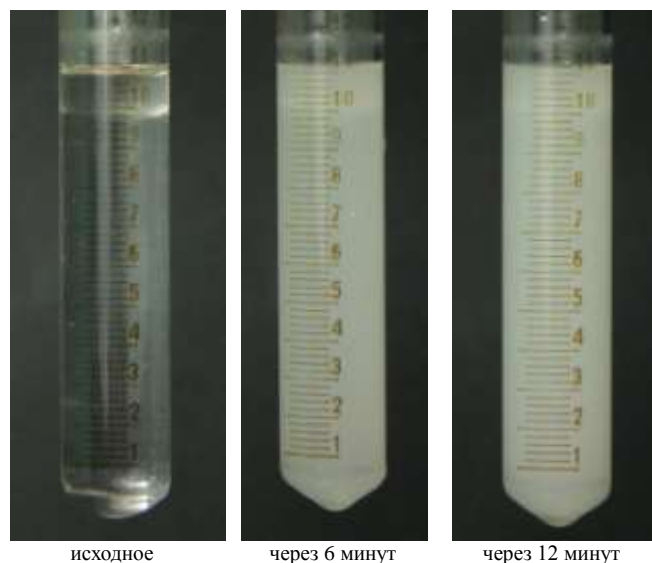
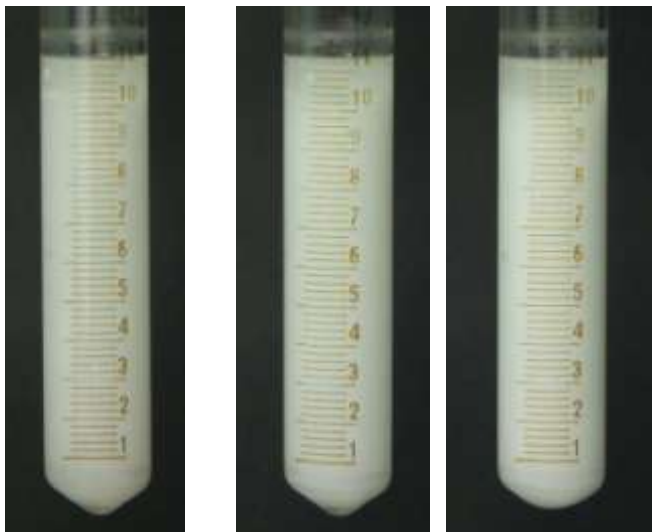


Рисунок 3 – Получение эмульсии подсолнечного масла

Через 60 минут ультразвукового воздействия в стеклянной пробирке образовалась прямая водная эмульсия только части подсолнечного масла. Если оказывать прямое ультразвуковое воздействие, то минимальная объемная интенсивность должна быть равной $1-1,5 \text{ Вт/см}^3$ [8-11]. Дополнительный вклад вносят акустические потоки, создаваемые изгибными колебаниями рабочего инструмента. В пробирке такие условия не создаются. Получаемая объемная интенсивность меньше ($0,3-0,4 \text{ Вт/см}^3$). Кавитация создается, но ее не достаточно для перевода в эмульсию всего подсолнечного масла.

На рисунке 4 приведены результаты ультразвукового воздействия при получении эмульсии пихтового масла в воде. Гидромодуль составил 1:10.





через 18 минут через 24 минут через 30 минут
Рисунок 3 – Получение эмульсии пихтового масла

Для получения эмульсии пихтового масла при прямом ультразвуковом воздействии минимальная объемная интенсивность должна быть равной 0,5-0,7 Вт/см³ [8-11]. Подобные условия воздействия создаются в пробирке, исключая акустические потоки.

Через 30 минут ультразвукового воздействия в стеклянной пробирке образовалась прямая водная эмульсия практически всего пихтового масла. Это подтверждает проводимые измерения и свидетельствует о наличии кавитации внутри пробирки.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы произведена оценка эффективности ультразвукового воздействия при обработке жидких сред в пробирках. Установлено, что:

- объемная интенсивность ультразвукового воздействия внутри пробирок не менее 0,3-0,5 Вт/см³;
- это подтверждено экспериментами по получению эмульсий (поскольку известно, что при прямом ультразвуковом воздействии для пихтового масла необходима объемная 0,5-0,7 Вт/см³, а для подсолнечного – 1-1,5 Вт/см³).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Агранат Б.А., Башкиров В.И., Китайгородский Ю.И., Хавский Н.Н. Ультразвуковая технология // Под. ред. Аграната Б.А. – М.: Металлургия, 1974 – 504 с.
- [2] Толочко Н.К., Корко В.С., Челединов А.Н. Особенности развития кавитации и эффективность очистных процессов в ультразвуковой ванне // Агропанорама. – 2016. – № 6. – С. 30-34.
- [3] Молчанов Г.И. Фармацевтические технологии: современные электротехнические биотехнологии в фармации: Учебное пособие / Г.И. Молчанов, Ю.А. Морозов. – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2009. – 336 с.

- [4] Эльпинер Е.И. Биофизика ультразвука. – М.: Наука, 1973. – 384 с.
- [5] Маргулис И.М., Маргулис М.А. Измерение акустической мощности при исследовании кавитационных процессов // Акустический журнал – 2005., – №51. – С. 802-812.
- [6] Margulis M.A., Margulis I.M. Calorimetric method for measurement of acoustic power absorbed in a volume of liquid // 3rd Conf. "Applications of Power Ultrasound in Physical and Chemical Processing". Paris. 13-14 Dec. 2001. С. 209-212.
- [7] Стандарт Международной электротехнической комиссии МЭК, публикация 782, 1987 г., раздел 12, п. 12.1
- [8] Khmelev V.N., Tsyganok S.N., Kuzovnikov Yu.M., Shakura V.A., Khmelev M.V., Zorin S.S. Study of ultrasonic cavitation action on the process of part cleaning from burrs // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2016: Novosibirsk, NSTU, 2016. – P 275-279
- [9] Khmelev V.N., Nesterov V.A., Shalunov A.V., Slivin A.N., Tsyganok S.N. Increasing of Efficiency of Ultrasonic Vibration System Work for Cavitation Treating of Liquid // 19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2017: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2018. – P. 287-291.
- [10] Хафизов И.Ф., Матвеев Ю.Г., Доронин Д.Б. Кавитация – как интенсификатор в процессах массообмена // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ, 2014 г. – №2 – с.106-110.



Владимир Н. Хмелев (SM'04) – заместитель директора по научно-исследовательской деятельности Бийского технологического института, профессор и преподаватель, доктор технических наук (УЗИ), заслуженный изобретатель России, лауреат премии Правительства РФ за достижения в области науки и техники. Член IEEE с 2000 года, старший член IEEE с 2004 года. Его научные интересы связаны с применением ультразвука для интенсификации различных технологических процессов.



Сергей Н. Цыганок получил диплом инженера в 1998 году и степень философии (кандидат технических наук) в 2005 году. Ведущий специалист по разработке ультразвуковых вибропреобразователей, лауреат премии Правительства Российской Федерации за достижения в области науки и техники, доцент и преподаватель в Бийске. Технологический институт. Его научные интересы связаны с проектированием ультразвукового технологического оборудования и применением ультразвуковых колебаний высокой интенсивности для интенсификации технологических процессов и изменения свойств материалов и веществ.



Евгений В. Ильченко получил диплом инженера в 2012 году. Он специализируется на разработке и настройке электронных схем, а также разработке программного обеспечения. Сфера его научных интересов – измерения, связанные с применением ультразвуковых технологических устройств.



Владислав А. Шакура родился в Бийске, Россия, в 1991 году. Он является аспирантом Бийского технологического института.