

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЧЕРЕЗ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ СРЕДЫ

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

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

В статье приводятся исследования функциональных возможностей ультразвукового воздействия через промежуточные звукопроводящие среды. А именно, исследуется ультразвуковое воздействие на дисперсные среды с преимущественно жидкой фазой, которые находятся внутри пробирки. Актуальность такого подхода является в обеспечении кавитационного воздействия, при котором не происходит изменение стерильной атмосферы в обрабатываемой среде. Количественно измерено и качественно доказано, что при ультразвуковом воздействии через промежуточные среды внутри пробирки создаются схлопывающиеся кавитационные пузырьки. Их энергии достаточно для интенсификации технологических процессов, например, получения эмульсий различных растительных масел.

Ключевые слова: ультразвуковое воздействие, кавитационное воздействие, лабораторное ультразвуковое оборудование, пробирка.

ВВЕДЕНИЕ

При ультразвуковом воздействии на дисперсные среды с преимущественно жидкой фазой возникает такое явление как кавитация. Кавитационное воздействие вместе с массой положительных моментов имеет и отрицательную сторону, а именно: происходит разрушение излучающей поверхности источника колебаний. Причем чем больше интенсивность ультразвукового воздействия, тем больше кавитационный износ. В результате продукты разрушения излучающей поверхности попадают в обрабатываемую технологическую среду [1, 2].

Рабочий инструмент ультразвуковой колебательной системы выполнен из титанового сплава, как правило, это ВТ-5 или ВТ-6. Поэтому в большинстве случаев продукты кавитационного износа химически нейтральны по отношению к обрабатываемому продукту. Однако наличие мельчайших частичек может изменять качество, например, ухудшается прозрачность продукта. Фактически это приводит к ограничению области применения высокоинтенсивного ультразвукового воздействия для интенсификации химико-технологических процессов в дисперсных средах с преимущественно жидкой фазой [3].

Кроме того, в ряде случаев, требуется «чистое» ультразвуковое воздействие, исключающее контакт стерильной обрабатываемой среды с излучающей поверхностью.

Это и обработка агрессивных сред – титановые сплавы не стойки в сильнощелочных растворах. Это и обработка химически или биологически чистых веществ [4].

Практически, требуется создать условия условий изоляции рабочего инструмента ультразвуковой колебательной системы 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.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Варианты аппаратной реализации ультразвукового аппарата для кавитационного воздействия на обрабатываемую среду, представлены на рисунке 1.

Источником ультразвукового воздействия (рисунок 1, а) 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.

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.

На рисунке 1,б представлен ультразвуковой аппарат, в котором кавитационное воздействие создается в промежуточной жидкой среде, находящейся между рабочим инструментом ультразвуковой колебательной системы и тонкой стенкой внешнего объема. Создаваемые излучателем колебания и схлопывающиеся воздушные пузырьки создают излучение и кавитационный шум широкого спектра и приводят в колебательные движения стенки внешнего объема. Они становятся источником колебаний для обрабатываемой среды, в которую помещается внешний объем с ультразвуковой колебательной системой



а – ультразвуковой аппарат для лабораторных исследований «Волна-Л» УЗТА-0,63/22-ОЛ



б – ультразвуковой аппарат серии «Волна-М» УЗТА-1/22-ОМ

Рис. 1. Ультразвуковой аппарат для воздействия через промежуточные среды

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 при использовании аппарата, приведенного на рисунке 1, а.

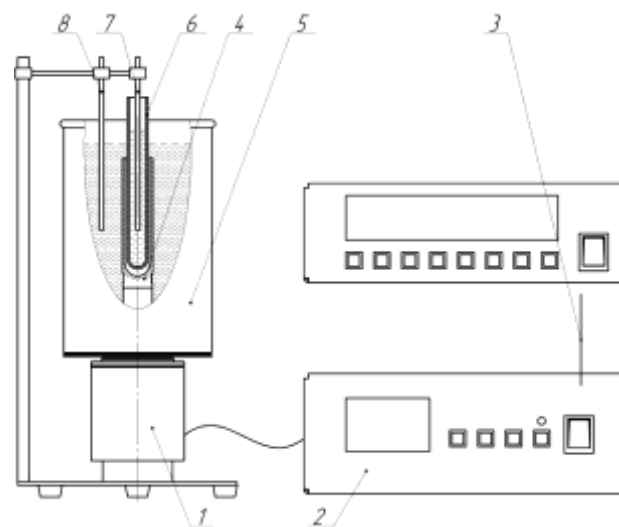
Известно, что наиболее доступным и пригодным для определения акустической мощности ультразвуковых установок, предназначенных для работы в дисперсных средах с преимущественно дикой фазой, является калориметрический метод [5-7].

Процедура измерения акустической мощности заключается в ее косвенной оценке по степени нагрева обрабатываемой среды в теплоизолированном объеме за короткое время по следующей формуле (1):

$$P_{ак} = \frac{cm(T_2 - T_1)}{\tau} \quad (1)$$

где c – теплоемкость обрабатываемой среды; m – масса обрабатываемой среды; T_1, T_2 – температура до и после ультразвукового воздействия, τ – время ультразвукового воздействия.

Измерительная установка, реализующая указанный принцип измерения, 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 сопротивления

Рис. 2. Измерительная установка

Абсолютная погрешность термометров сопротивления не превышала 0,1 °С, секундомера – 0,5 с. Следовательно, относительная погрешность измерений не превышала 10%. Ультразвуковое воздействие осуществлялось в течение короткого промежутка времени – от 20 с до 60 с.

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.

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 разных материалов: из химического стекла и термопластичной 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.

В качестве, как промежуточной жидкости, так и обрабатываемой жидкости, использовалась водопроводная вода, выдержанная при нормальных условиях в течение суток.

Результаты измерений усреднялись и приведены в таблице 1

Табл. 1. Результаты измерений

	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±0,5	0,4-0,5

Стоит заметить, что, поскольку рабочий инструмент изготовлен из титанового сплава ВТ5, 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.

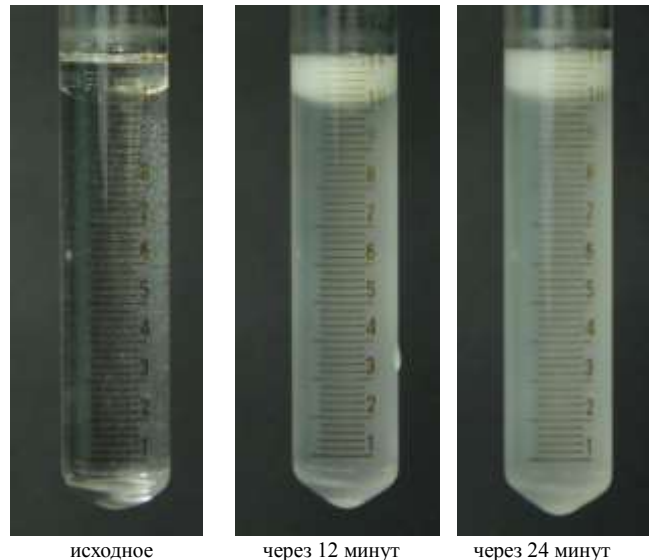
Потребляемая аппаратом электрическая мощность, при проведении измерений, была в пределах 310-320 Вт. С учетом акустической мощности, введенной во внешний технологический объем и во внутрь рабочего инструмента, а общий КПД аппарата составил

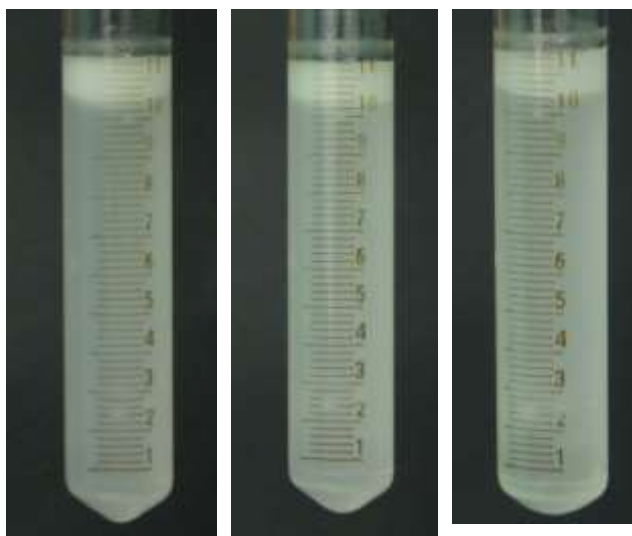
64%. Однако, если учитывать только ввод акустической энергии пробирку, то КПД снижается до 10%. КПД аппарата был вычислен через отношение акустической мощности, вводимой в заданную жидкую среду, к потребляемой активной мощности аппаратом из электрической сети.

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 ±10°C.

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

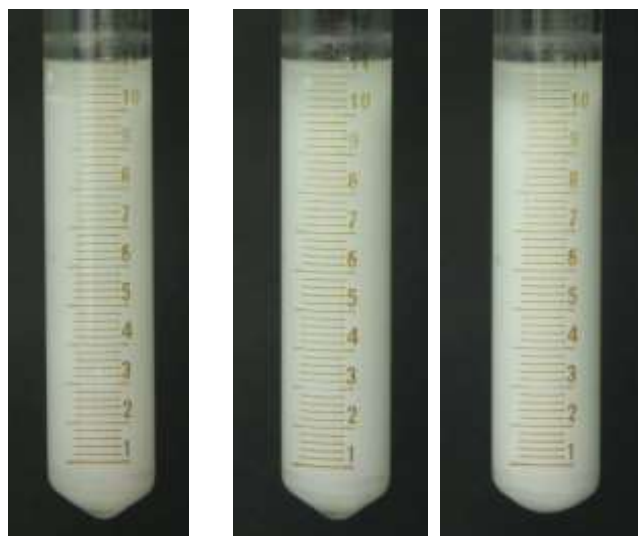




через 36 минут через 48 минут через 60 минут
Рис. 3. Получение эмульсии подсолнечного масла

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 Вт/см³ [8-10]. Дополнительный вклад вносят акустические потоки, создаваемые изгибными колебаниями рабочего инструмента. В пробирке такие условия не создаются. Получаемая объемная интенсивность меньше (0,3-0,4 Вт/см³). 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. Гидро модуль составил 1:10.



через 18 минут через 24 минут через 30 минут
Рис. 4. 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 [8-10]. Подобные условия воздействия создаются в пробирке, исключая акустические потоки.

3. 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.

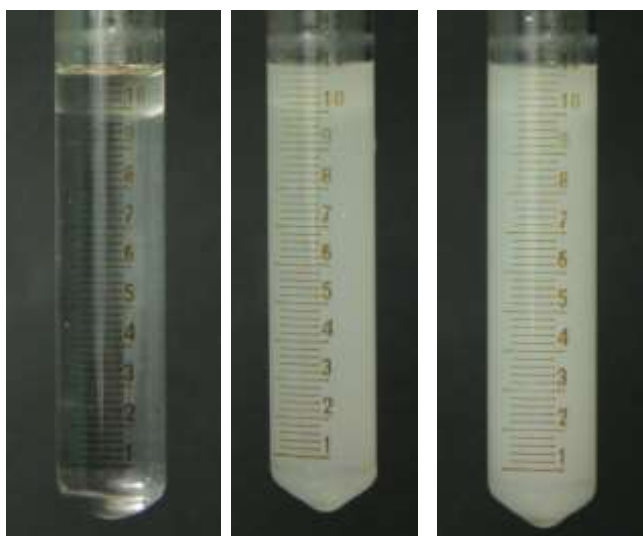
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы было оценено ультразвуковое воздействие через промежуточные среды, а именно:

- было разработано и реализовано аппаратное оформление такого способа воздействия;
- для количественной оценки кавитационного воздействия была создана измерительная установка, реализующая calorиметрический метод определения вводимой акустической мощности, в частности объемная интенсивность ультразвукового воздействия внутри пробирок составила не менее 0,3-0,5 Вт/см³;
- качественно оценена степень ультразвукового воздействия при помощи экспериментов по получению эмульсий растительных масел: подсолнечного и пихтового.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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 /



исходное через 6 минут через 12 минут

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, 2014г. – №2 – с.106-110.

Хмелев Владимир Николаевич – заместитель директора по науке, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Цыганок Сергей Николаевич – доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: grey@bti.secna.ru.

Шакура Владислав Анатольевич – Научный сотрудник, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел. 89069443910, e-mail: shakura.va@bti.secna.ru.

ULTRASONIC EXPOSURE THROUGH INTERMEDIATE MEDIA

V.N. Khmelev, S.N. Tsyganok, V.A. Shakura

Biysk Technological Institute, Biysk

Abstract – The article studies the functionality of ultrasonic exposure through intermediate sound-conducting media. Namely, the ultrasonic effect on dispersed media with a predominantly liquid phase, which are inside the test tube, is investigated. The relevance of this approach is to provide cavitation effects, in which there is no change in the sterile atmosphere in the treated medium. Quantitatively measured and qualitatively proved that under ultrasound exposure through intermediate media inside the tube, clumping cavitation bubbles are created. Their energy is enough to intensify technological processes, for example, to obtain emulsions of various vegetable oils.

Index terms: ultrasonic exposure, cavitation, laboratory ultrasound equipment, test tube.

REFERENCES

1. Agranat B.A., Bashkirov V.I., Kitaygorodsky Yu.I., Khavsky N.N. Ultrasonic technology // Under. ed. Agranata B.A. - M.: Metallurgy, 1974 - 504 p.
2. Tolochko N.K., Korko V.S., Cheledinov A.N. Features of the development of cavitation and the effectiveness of treatment processes in an ultrasonic bath // Agropanorama. - 2016. - No. 6. - S. 30-34.
3. Molchanov G.I. Pharmaceutical Technologies: Modern Electrotechnical Biotechnologies in Pharmacy: Textbook / G.I. Molchanov, Yu.A. Morozov. - M.: Alpha-M: INFRA-M, 2009. -- 336 p.
4. Elpiner E.I. Biophysics of ultrasound. - M.: Nauka, 1973. - 384 p.
5. Margulis I.M., Margulis M.A. Measurement of acoustic power in the study of cavitation processes // Acoustic journal - 2005., - №51. - S. 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. C. 209-212.
7. IEC International Electrotechnical Commission Standard, Publication 782, 1987, Section 12, Clause 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. EDM2017: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2018. – P. 287–291.
10. Hafizov I.F., Matveev Yu.G., Doronin DB Cavitation as an intensifier in the processes of mass transfer // News of higher educational institutions. Oil and gas, 2014 - No. 2 - p. 106-110.1

Khmelev Vladimir Nikolaevich – Deputy Director for Science, Biysk Technological Institute, (3854)432581, e-mail: vnkh@bti.secna.ru.

Tsyganok Sergey Nikolaevich – Associate Professor, Department of Methods and Means of Measurement and Automation, Biysk Technological Institute, (3854)432570, e-mail: grey@bti.secna.ru.

Shakura Vladislav Anatolievich – Researcher, Biysk Technological Institute, 89069443910, e-mail: shakura.va@bti.secna.ru.