

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АППАРАТ С ПЯТЬЮ РАБОЧИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ РАЗЛИЧНОГО ДИАМЕТРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.Н. Хмелёв, Р.В. Барсуков, А.Р. Барсуков, С.Н. Цыганок, В.А. Нестеров

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

Статья посвящена созданию ультразвукового аппарата, предназначенного для широкого спектра научных и прикладных исследований в биологии, микробиологии, молекулярной биологии, биохимии, химии, токсикологии, для гомогенизации клеток и клеточных культур в биохимии, микробиологии, почвоведении и исследованиях полимеров, способного обеспечивать УЗ обработку различных по структуре и свойствам жидкостей и жидкодисперсных сред в различных по размерам технологических объемах (от 1 мл до 1 л) с интенсивностью до 50 Вт на см². Аппарат комплектуется пятью сменными рабочими инструментами различного диаметра 1,5 мм, 4,5 мм, 7 мм, 10 мм и 18 мм. Для снижения уровня звукового давления, исключения разбрызгивания обрабатываемых материалов, защиты оператора в комплект аппарата входит звукоизоляционная камера.

Ключевые слова: ультразвук, аппарат, кавитация, воздействие, жидкие среды.

ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковые технологии находят всё более широкое применение в различных областях деятельности человека. На сегодня создан и применяется широкий класс ультразвуковых технологических аппаратов, способных удовлетворить потребности различных потребителей и производств. Наблюдается тенденция по наращиванию мощности ультразвукового оборудования для удовлетворения потребностей больших производств [1-3].

Вместе с тем современные производства требуют все больше ультразвуковых (УЗ) аппаратов для интенсификации различных технологических процессов [4, 5]. Однако, насыщение производств оборудованием и активное его использование часто ограничивается отсутствием специализированных аппаратов для проведения исследований по выявлению оптимальных режимов (амплитуды, частоты, интенсивности) и условий (объемов, времени, температуры, давления и т.п.) воздействия на разнообразные (по плотности, кавитационной прочности, вязкости, дисперсности и т.п.) среды при реализации конкретных технологических процессов.

Особенно остро на сегодня стоит проблема обеспечения исследовательских центров и лабораторий аппаратами для широкого спектра научных и прикладных исследований в биологии, микробиологии, молекулярной биологии, биохимии, химии, токсикологии, для гомогенизации клеток и клеточных культур в биохимии, микробиологии,

почвоведении и исследованиях полимеров, перемешивания, гомогенизации и диспергирования.

Поэтому, усилия разработчиков ультразвуковых аппаратов направлены на создание аппаратов мощностью не более 200 Вт, способных обеспечивать УЗ обработку различных по структуре и свойствам жидкостей и жидкодисперсных сред в различных по размерам технологических объемах (от 1 мл до 1 л) с интенсивностью до 50 Вт на см².

Основная особенность таких ультразвуковых аппаратов должна заключаться в возможности работы с различными по размерам инструментами (рабочими окончаниями), создающими в различных объемах и средах одинаковые по интенсивности ультразвуковые воздействия.

Решению этой задачи посвящена представляемая работа.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На рисунке 1 представлено фото ультразвукового технологического аппарата «Волна» с пятью сменными рабочими инструментами. Такой ультразвуковой технологический аппарат предназначен для интенсификации процессов, протекающих в дисперсных системах с преимущественно жидкой фазой, за счет одинакового по эффективности кавитационного воздействия в различных по размерам технологических объемах.

Принцип действия ультразвукового технологического аппарата основан на использовании свойств ультразвуковых колебаний высокой интенсивности ускорять массообменные процессы за

счет создания регулируемого режима ультразвуковой кавитации.



Рис. 1. Фото ультразвукового аппарата «Волна» с пятью сменными рабочими инструментами

Аппарат включает в себя: электронный генератор, обеспечивающий преобразование напряжения бытовой электрической сети в электрические колебания ультразвуковой частоты и электромеханический преобразователь пьезоэлектрического типа (ультразвуковую колебательную систему) с возможностью смены рабочего инструмента.

Аппарат имеет следующие основные характеристики, представленные в таблице 1.

Табл. 1. Основные характеристики УЗ аппарата

Характеристика	Значение
Питание от сети переменного тока напряжением, В	220±20
Частота механических колебаний, кГц	22±2,00
Максимальная потребляемая мощность, Вт	100
Диапазон регулирования мощности, %	30-100
Габаритные размеры электронного блока, мм	300x280x110
Масса электронного блока, кг, не более	8,0
Габаритные размеры колебательной системы, мм	Ø70x270

В комплект аппарата входят резонансные полуволновые рабочие инструменты диаметром 1,5 мм (№1), 4,5 мм (№2), 7 мм (№3), 10 мм (№4) и 18 мм (№5).

Поскольку аппарат предназначен для воздействия на жидкие среды в ограниченных объемах, в таблице 2 представлены рекомендуемые обрабатываемые объемы при использовании сменных рабочих инструментов.

Табл. 2. Рекомендуемые значения озвучиваемых объемов

Диаметр рабочего инструмента	Обрабатываемый объем
Полуволновой рабочий инструмент №5 (Ø 18 мм)	от 200 мл до 1000 мл
Полуволновой рабочий инструмент №4 (Ø 10 мм)	от 100 мл до 200 мл
Полуволновой рабочий инструмент №3 (Ø 7 мм)	от 50 мл до 100 мл
Полуволновой рабочий инструмент №2 (Ø 4,5 мм)	от 10 мл до 50 мл
Полуволновой рабочий инструмент №1 (Ø 1,5 мм)	от 1 мл до 10 мл

Исследования функциональных возможностей и измерения технических характеристик аппарата позволили определить ряд его основных параметров,

таких как мощность, интенсивность УЗ воздействия, амплитуда колебаний рабочего инструмента, КПД и ряд других параметров, представленных в таблице 3.

Табл. 3. Основные эксплуатационные параметры аппарата «Волна»

Номер инструмента/ Диаметр окончания, мм	Поверхность излучения S _{изл} , см ²	Мощность потребляемая P _{эл} , Вт	Мощность вводимая P _{акв} , Вт	Частота f, кГц	Амплитуда A _{100%} , мкм	Интенсивность I, Вт/см ²	КПД η, %
№1/1,5	0,015	50	0,75	23	100	50	1,5
№2/4,5	0,15	55	7,5	22,9	100	50	15
№3/7	0,4	65	20	22,8	100	50	30
№4/10	1	95	47,5	22,7	100	50	50
№5/18	4,2	135	81	23,9	40	20	60

Представленные в таблице 3 основные параметры аппарата «Волна» получены при максимальной уставке (100%) мощности. При уменьшении мощности пропорционально уменьшается и интенсивность ультразвукового воздействия.

Смена (монтаж/демонтаж) рабочих инструментов осуществляется при помощи двух рожковых ключей на «13», как показано на рисунке 2. Момент затяжки составляет 20-25 Н•м.

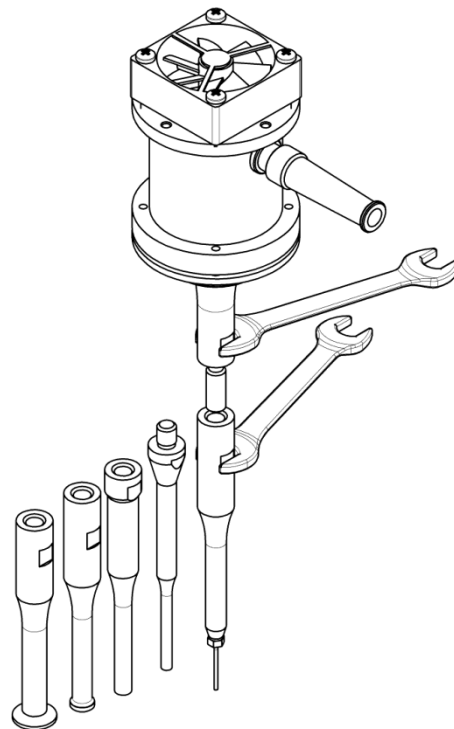


Рис. 2. Монтаж/демонтаж сменных рабочих инструментов

Для снижения уровня звукового давления, создаваемого озвучиваемым объемом при обработке жидких сред в кавитационном режиме, исключения разбрызгивания обрабатываемых материалов, защиты оператора в комплекте аппарата предусмотрена звукоизоляционная камера, внутри которой размещается УЗ излучатель и объем с обрабатываемой жидкой средой. Наличие

звукоизоляционной камеры позволяет снизить уровень звуковой нагрузки на оператора до допустимых значений и меньше. Прозрачная дверца камеры позволяет наблюдать озвучиваемый объём в ходе работы с аппаратом. На рисунке 3 представлено фото звукоизоляционной камеры с размещённым в ней излучателем.

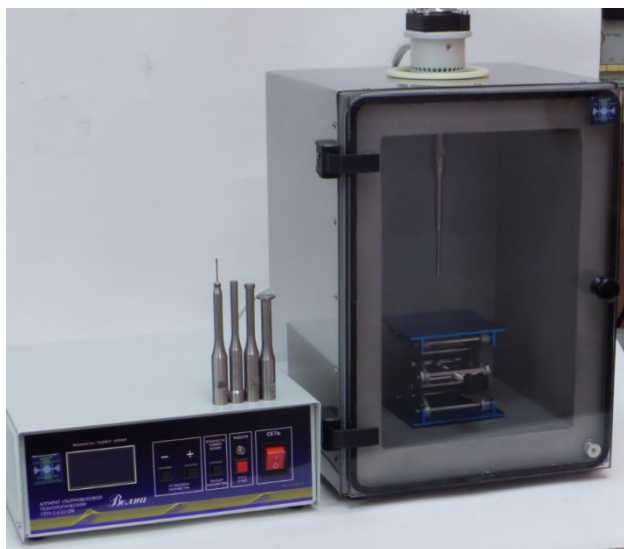


Рис. 3. Фото звукоизоляционной камеры с установленным излучателем

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведённых исследований и разработок создан ультразвуковой технологический аппарат, предназначенный для отработки технологических процессов в различных средах, проведения научных исследований при изучении различных процессов, протекающих в жидких средах, ограниченных небольшими объёмами, в присутствии ультразвуковых полей высокой интенсивности. Аппарат по своим функциональным возможностям и техническим характеристикам превосходит существующие зарубежные аналоги.

Исследования возможности применения ультразвука для кавитационного воздействия выполнены при поддержке гранта РФФ 22-29-00828 «Кавитационно-акустическое формирование многосвязной межфазной поверхности «газ-жидкость» для решения проблемы высокоэффективного поглощения газов».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ультразвук. Принципы построения, алгоритмы и системы управления ультразвуковыми аппаратами: монография [Текст] / В.Н. Хмелёв [и др.]. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2021. – 200 с.
2. Обеспечение максимальной эффективности ультразвуковых технологий в средах с жидкой фазой / В.Н. Хмелёв [и др.] // Южно-сибирский научный вестник. – 2021. – № 4(38). – С. 62–70.
3. Разработка метода и оборудования для определения кавитационной прочности покрытий / В.Н. Хмелёв [и др.] //

Техническая акустика: разработки, проблемы, перспективы: материалы международной научной конференции. – 2021. – С. 38–40.

4. Ультразвуковые аппараты для интенсификации процессов / В.Н. Хмелёв [и др.] // Труды Всероссийской акустической конференции: материалы III Всероссийской конференции. – 2020. – С. 191–194.

5. Ультразвуковые аппараты для интенсификации технологических процессов через газовые среды / В.Н. Хмелёв [и др.] // Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности (ISTS "EESTE-2021"): сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума, посвященного 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума "Современные задачи инженерных наук". – 2021. – С. 338–342.

Хмелёв Владимир Николаевич – доктор технических наук, заместитель директора по научной работе, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Барсуков Роман Владиславович – кандидат технических наук, начальник отдела научно-исследовательской работы сотрудников и преподавателей, доцент, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: roman@bti.secna.ru.

Барсуков Александр Романович – младший научный сотрудник отдела научно-исследовательской работы сотрудников и преподавателей, студент магистратуры, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: alex_bars@u-sonic.ru.

Цыганок Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: grey@bti.secna.ru.

Нестеров Виктор Александрович – кандидат технических наук, доцент, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: nva@bti.secna.ru.

ULTRASONIC TECHNOLOGICAL APPARATUS WITH FIVE WORKING TOOLS OF DIFFERENT DIAMETERS FOR SCIENTIFIC RESEARCH

V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, A.R. Barsukov, S.N. Tsyganok, V.A. Nesterov

Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, Biysk

Abstract – The article is devoted to the creation of an ultrasonic apparatus capable of providing ultrasonic processing of liquids and liquid-dispersed media of various structures and properties in technological volumes of various sizes (from 1 milliliter to 1 liter) with an intensity of up to 50 W per cm². The apparatus is intended for a wide range of scientific and applied research in biology, microbiology, molecular biology, biochemistry, chemistry, toxicology, for homogenization of cells and cell cultures in biochemistry, microbiology, soil science and polymer research. It comes with five interchangeable working tools of different diameters 1.5 mm, 4.5 mm, 7 mm, 10 mm and 18 mm. To reduce the level of sound pressure, prevent splashing of processed materials, and protect the operator, the machine is equipped with a soundproof chamber.

Index terms: ultrasonic, apparatus, cavitation, impact, liquid media.

REFERENCES

1. Khmelev, V. N., et al., Ultrasonic. Construction principles, algorithms and control systems for ultrasonic devices. Barnaul: Altay State Technical University, 2021.
 2. Khmelev, V. N., S. Tsyganok, R. Barsukov, and M. Khmelev, "Ensure maximum efficiency of ultrasonic technologies in liquid phase environments," *South-Siberian scientific bulletin*, no. 4(38), pp. 62–70, 2021.
 3. Khmelev, V. N., et al, "Development of a method and equipment for determining the cavitation strength of coatings," *Technical acoustics: developments, problems, prospects: materials of the international scientific conference*, pp 38–40. May, 2021.
 4. Khmelev, V. N., et al, "Ultrasonic devices for intensification of processes," *Proceedings of the All-Russian Acoustic Conference: Materials of the III All-Russian Conference*, pp 191–194. 2020.
 5. Khmelev, V. N., et al, "Ultrasonic devices for intensification of technological processes through gas medium," *Improving the energy and resource efficiency and environmental safety of processes and apparatuses in the chemical and related industries (ISTS "EESTE-2021"): proceedings of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium dedicated to the 110th anniversary of A.N. Planovsky, within the framework of the Third International Kosygin Forum "Modern problems of engineering sciences"*, pp 338–342. 2021.
- Khmelev Vladimir Nikolaevich* – doctor in Technology, deputy director for research, Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, (3854)432570, e-mail: vnh@bti.secna.ru.
- Barsukov Roman Vladislavovich* – PhD in Technology, head of the department of research work of employees and teachers, assistant professor, Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, (3854)432570, e-mail: roman@bti.secna.ru.
- Barsukov Aleksandr Romanovich* – junior research fellow of the department of research work of employees and teachers, master's student, Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, (3854)432570, e-mail: alex_bars@u-sonic.ru.
- Tsyganok Sergey Nikolaevich* – PhD in Technology, assistant professor, Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, (3854)432570, e-mail: grey@bti.secna.ru.
- Nesterov Viktor Aleksandrovich* – PhD in Technology, assistant professor, Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, (3854)432570, e-mail: nva@bti.secna.ru.