

Создание и Применение Пьезопреобразователей с Увеличенной Площадью Излучения для Очистки Сточных Вод

Владимир Н. Хмелёв, д.т.н., *Senior Member, IEEE*, Сергей В. Левин, Сергей Н. Цыганок,
к.т.н., Максим В. Хмелёв, Сергей С. Хмелёв
Бийский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО АлтГТУ им И.И. Ползунова

Аннотация – В работе анализируются тенденции, позволяющие создавать и применять пьезопреобразователи с увеличенной площадью излучения для повышения производительности ультразвуковых технологических аппаратов. В работе рассмотрено несколько практических примеров применения созданных систем, в том числе для очистки сточных вод.

Ключевые слова – ультразвук, пьезопреобразователь, очистка сточных вод.

I. ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация процессов химических технологий при помощи УЗ колебаний высокой интенсивности является одним из перспективных направлений развития современной химической промышленности.

Среди реальных достижений УЗ технологий сегодня – ускорение в тысячи раз процессов экстрагирования, растворения, эмульгирования, диспергирования, увеличение выхода полезных веществ при экстрагировании на 10...50%, получение материалов с новыми, уникальными свойствами, такими как: стерильность, наноразмерность, устойчивость эмульсий и т.п.

При реализации процессов в жидких и жидкодисперсных средах максимальная эффективность реализуемых процессов обеспечивается при интенсивности ультразвукового воздействия в $1 \times 10^5 \dots 1,5 \times 10^5$ Вт/см², т.е. при реализации режима развитой кавитации.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Несмотря на эффективность применения ультразвукового воздействия на технологические среды, интенсификация процессов возможна только в лабораторных условиях. Область распространения кавитационного воздействия (зона развитой кавитации) ограничена затуханием распространяемых колебаний в вязких жидкостях

или изменением волнового сопротивления кавитирующей жидкости (практически до волнового сопротивления газовой среды), ограничивающим выход энергии УЗ колебаний из излучателя.

Это обусловлено тем, что при реализации процессов химических технологий при помощи традиционных пьезоэлектрических излучателей, базирующихся на максимальных по размерам пьезоэлементах (диаметром 5×10^{-2} м), диаметр поверхности излучения не может превышать 4×10^{-3} м². (с учетом двухстороннего излучения рабочего инструмента грибовидной формы). Размер кавитационной зоны (диаметром 5×10^{-2} м) при этом не превышает нескольких диаметров излучающей поверхности (от 2...3 для масел до 5...10 для воды). Таким образом, при реализации различных технологических процессов эффективной обработке будут подвергаться объемы жидкостей, не превышающие: для вязких жидкостей – 4×10^{-4} м³; для воды – 2×10^{-3} см³. Поскольку требуемая для реализации процессов длительность УЗ воздействия превышает десятки и сотни минут, проточные аппараты непрерывного действия не решают проблемы.

Такие ограничения по объемам единовременно обрабатываемых жидких сред обуславливают существующие ограничения по распространности УЗ технологий (отсутствие промышленного крупносерийного производства) только лабораторными установками и установками с малой производительностью.

Поскольку повышение производительности процессов химической технологии и реализация возможностей высокоэффективного ультразвукового воздействия в промышленных масштабах является первоочередной задачей создателей УЗ технологических аппаратов, а повышение производительности возможно только за счёт увеличения энергии вводимых в режиме развитой кавитации ($1 \times 10^5 \dots 1,5 \times 10^5$ Вт/м²) ультразвуковых колебаний, очевидной становится необходимость

создания и промышленного применения пьезоэлектрических колебательных систем с увеличенной не менее, чем в 5...10 раз площадью излучающей поверхности (до $3 \times 10^{-2} \text{ м}^2$ и более), способных обеспечить одновременную обработку жидких сред в объемах не менее $0,1...0,3 \text{ м}^3$.

III. МНОГОПОЛУВОЛНОВАЯ КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С УВЕЛИЧЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ

Излучатель может быть представлен как система, состоящая из симметрично состыкованных единичных полуволновых элементов, как это показано на Рис. 1.

Каждый единичный элемент включает в себя канавки и утолщения. При работе излучателя на основной собственной частоте, единичный элемент может быть заменен эквивалентной ему механической системой с сосредоточенными параметрами [4].

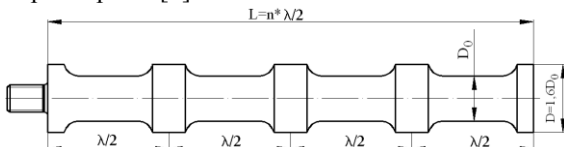


Рис. 1. Конструктивная схема рабочего инструмента с увеличенной поверхностью излучения ультразвуковой энергии

При использовании подобных систем, становится возможным создание ультразвуковых аппаратов для повышения производительности технологических процессов.

Создание конструкций активных рабочих инструментов с увеличенной поверхностью излучения, позволяющих вводить в обрабатываемую среду ультразвуковые колебания с мощностью более 3000 Вт, потребовало разработки соответствующих колебательных систем. При этом, с учетом к.п.д. существующих пьезоэлектрических ультразвуковых преобразователей (приблизительно 70%) возникает необходимость использовать в составе ультразвуковой колебательной системы ультразвуковые преобразователи, способные обеспечить формирование УЗ колебаний при подаче электрических колебаний, мощностью не менее 4..6 кВт. Очевидно, что поверхность формирования ультразвуковых колебаний в преобразователе должна быть не меньше поверхности излучения и должно выполняться условие обеспечения работы пьезоэлектрического преобразователя в режимах, не превышающих предела механической прочности керамики (то есть амплитуда колебаний не должна превышать 5 мкм). Именно необходимость выполнения этого условия диктует обязательное увеличение площади поверхности формирования ультразву-

ковых колебаний не менее чем в 4..5 раз по сравнению с площадью излучения, то есть до значения, превышающего 1000 см^2 . Следовательно, преобразователь должен иметь поперечные размеры, превосходящие половину длины УЗ колебаний в материале на рабочей частоте.

Для решения этой задачи было предложено применить пьезоэлектрический преобразователь, позволяющий суммировать мощности ультразвуковых колебаний, генерируемых набором пакетов пьезоэлектрических элементов малых размеров (Рис. 2).

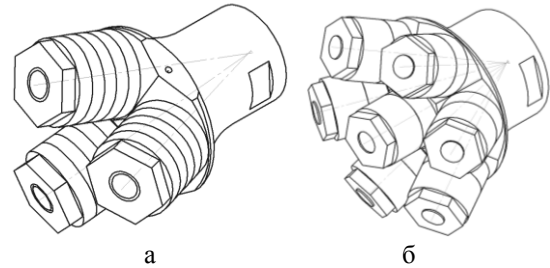
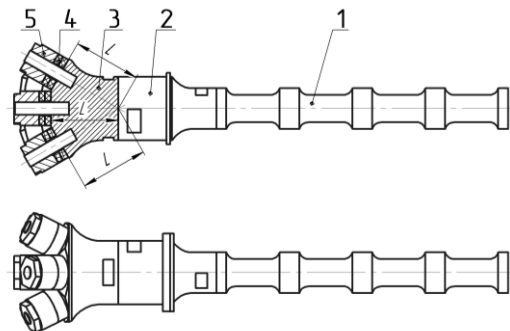


Рис. 2. Аксонометрический вид разработанных ультразвуковых колебательных систем а – средней мощности, б – большой мощности

Такая конструкция пьезопреобразователя позволяет обеспечить генерацию ультразвуковых колебаний, достаточных для обеспечения кавитационного режима без превышения предельно допустимых параметров пьезоэлектрических элементов.

Конструктивная схема разработанной ультразвуковой колебательной системы показана на Рис. 3.



1 – активный рабочий инструмент с увеличенной поверхностью излучения (см. рисунок 3.29), 2 – согласующий акустический трансформатор (концентратор), 3 – рабочая частотнопонижающая накладка, 4 – пьезоэлектрические элементы, 5 – отражающие частотнопонижающие накладки.
Рис. 3. Схема ультразвуковой колебательной системы

Для различных объемов производств, с различными требованиями к мощности излучения, производительности, возможны различные варианты ультразвуковых колебательных систем.

IV. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АППАРАТ

В результате исследований и измерений было подтверждено значительное повышение эффективности ультразвуковых технологических аппаратов за счет применения созданных колебательных систем и инструментов. Так, максимальный КПД электроакустического преобразования при воздействии на водную среду был увеличен с 40-45% до 82-85%, при воздействии на масляные среды был увеличен с 20-35% до 70-74%. При этом интенсивность ультразвуковых колебаний составляла не менее 10 Вт/см² для масляных сред и не менее 20 Вт/см² для водных, обеспечивая тем самым оптимальное воздействие в режиме развитой кавитации.

В лаборатории акустических процессов и аппаратов был спроектирован и разработан ультразвуковой технологический аппарат «Булава», представленный на Рис. 4.

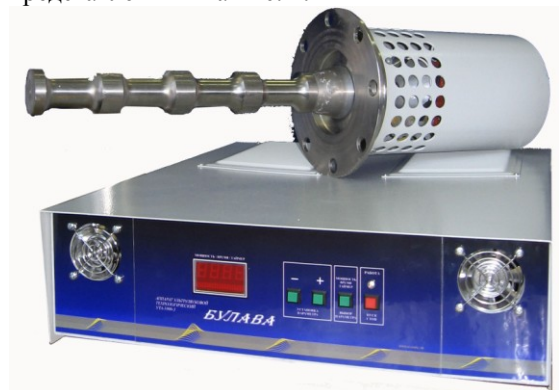


Рис. 4. Внешний вид ультразвукового технологического оборудования «Булава»

Технические характеристики разработанного ультразвукового оборудования приведены в Табл. 1.

ТАБЛИЦА I
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АППАРАТА
«БУЛАВА»

Напряжение питающей сети, В	220 ±10%
Потребляемая мощность, Вт	3000
Рабочая частота, кГц	21,6
Длина рабочего инструмента, мм	500

V. ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОЗДАННОГО АППАРАТА

Для подтверждения эффективности использования разработанного оборудования были проведены экспериментальные исследования по обработке сточных вод механическими колебаниями ультразвуковой частоты. Результаты представлены в Табл. II.

ТАБЛИЦА II

ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОЧНЫХ ВОД ДО И ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

Параметры воды	вход	выход
РН	7,6	7,7
УЭП	0,102	0,0577
Взвешенные вещества	>2000	122,2
Сухой остаток	612,2	305,6
БПК5	276	15,6
Перманг окисляемость	191,8	18,8
Аммоний	46,5	19,5
Фосфаты	0,95	0,2
Сульфаты	28,9	10,4
АПАВ	3,21	2,23
Нитриты, нитраты, прозрачность	выше нормы	ниже нормы

Как видно из результатов таблицы эффект очистки очевиден. Так же эффективно происходит снижение токсичности. До обработки жидкость токсична, после обработки не токсична и полностью обеззаражена.

Воздействию ультразвуковыми колебаниями подвергалась вода, полученная в процессе таяния снега. Вода, обработанная в проточном реакторе, на выходе являлась практически 100% стерильной.

Кроме того, воздействию разработанного аппарата подвергалась нефть. В процессе обработки нефти ультразвуковым аппаратом произошло обезвоживание нефти с 5 до 0,5 %. Кроме того, в процессе акустического воздействия на нефтяную залежь с целью увеличения ее производительности и проведения работ по межскважинному зондированию месторождений происходит разжижение нефти. Применение разработанного ультразвукового технологического оборудования позволило справиться с одной из самых наболевших проблем в нефтяной отрасли как при добыче нефти, так и при её транспортировке. Проблема заключалась в выпадении парафиновых отложений на внутренних поверхностях стенок труб, по которым движется нефтяная жидкость.

Практически во всех обводненных скважинах отмечалось снижение заводненности добываемой жидкости, стабилизировалась работа пласта. Кроме того, происходит очищение прилегающих трубопроводов, в результате чего одновременно с прекращением дополнительных работ по очистке лифта скважины исключается тепловая обработка выкидных линий и близлежащих (до 500 м) трубопроводов даже при низких (до -40°С) температурах.

Одним из самых больших преимуществ данного метода предотвращения отложений парафина и образования парафино-гидратных пробок является его полная экологическая безопасность.

Для определения эффективности разработанного оборудования в технологическом объёме

под воздействием ультразвуковых колебаний были проведены эксперименты по получению эмульсии солянки и воды. Для получения эмульсии было использовано 7,5 литров солянки и 2,5 литра воды. Эмульгирование производилось в технологическом объёме в течении 10 минут. В течении последующего времени разделения образца на составляющие не наблюдалось.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выбор новой конструктивной схемы, объединяющей последовательно установленные полуволновые излучатели, позволяет более чем в 10 раз увеличить поверхность излучения.

2. Для питания многополуволнового излучателя предложены и разработаны многоэлементные пьезопреобразователи, обеспечивающие суммирование энергии отдельных пьезопреобразователей.

3. Создана практическая конструкция ультразвукового технологического аппарата, обеспечивающая вывод в технологические среды более 3000 Вт энергии акустических колебаний.

4. Исследование возможностей созданного аппарата при ультразвуковой обработке сточных вод позволило производить очистку воды до полного обеззараживания.

5. Аппарат может применяться в различных отраслях промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] В.Н. Хмелев, Д.С. Абраменко, С.В. Левин, С.С.Хмелев, Ю.М. Кузовников, "Ультразвуковой проточный реактор для интенсивной ультразвуковой обработки жидких сред в тонком слое", Технологии и оборудование химической, биологической и пищевой промышленности, Бийск, БТИ АлтГТУ, pp. 6, 15/05/2008.
- [2] В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Ю.М. Кузовников, С.Н. Цыганок, С.С.Хмелев, "Лабораторный Стенд для Проточной Кавитационной Обработки Жидких Сред", International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2008, Новосибирск, НГТУ, 2008.
- [3] С.Н. Цыганок, С.С.Хмелев, Д.С. Абраменко, С.В. Левин, "Применение Ультразвука при Перекачивании Вязких Жидкостей", International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2008, Новосибирск, НГТУ, 2008.
- [4] В.Н. Хмелев, И.И. Савин, Д.С. Абраменко, "К вопросу согласования электронных генераторов и ультразвуковых колебательных систем с излучателями, работающими в режиме изгибных колебаний", International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2007, Новосибирск, НГТУ, 2007.



Владимир Н. Хмелев (М'00, SM'04)— заместитель директора Бийского технологического института по НИР, профессор, доктор технических наук. Заслуженный изобретатель России. Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых. Область научных интересов – ультразвуковая техника и технологии, применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности для интенсификации технологических процессов и изменения свойств веществ и материалов.



Сергей В. Левин родился в Бийске, Россия, 1981. Получил степень инженера по специальности «Информационно-измерительная техника и технология» в Бийском Технологическом институте в 2004 году. В 2007 году закончил аспирантуру Бийского технологического института. Область научных интересов: увеличение производительности ультразвукового оборудования для интенсификации химических процессов.



Сергей Н. Цыганок родился в Новосибирске, Россия, 1975. Кандидат технических наук, доцент. Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых. Областью научных интересов является разработка высокоэффективных пьезоэлектрических колебательных систем для ультразвуковых технологических аппаратов.



Максим В. Хмелёв родился в 1982 году, в г. Бийске. В 2005 закончил БТИ по специальности «Информационно-измерительная техника и технологии». Инженер БТИ. Область научных интересов: ультразвуковые технологии очистки.



Сергей С. Хмелев родился в г. Прокопьевске, Россия, 1985. Аспирант Бийского технологического института. Область научных интересов – разработка и создание ультразвуковых колебательных систем.