

И.А. Гришко, асп., А.Ф. Луговской, д-р техн.наук, проф., В.С. Кривошеев, канд.техн.наук, доц.,
НТУ Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ПРОТОЧНАЯ КАВИТАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Розглянуті перспективи створення проточного ультразвукового кавітаційного технологічного обладнання з використанням фокуруючих особливостей випромінюючих поверхонь. Представлені результати експериментального дослідження інтенсивності кавітації та особливості її розповсюдження вздовж трубопроводу в трубчатому вібраторі з чотирма ультразвуковими п'єзоелектричними приводами на зовнішній твірній поверхні. Дослідження кавітації проводилися із застосуванням алюмінієвої фольги.

The prospects of running a ultrasonic cavitation process equipment using the focusing characteristics of radiating surfaces. The results of experimental study of cavitation intensity and peculiarities of its distribution along the pipeline in tubular vibrator with four ultrasonic piezoelectric actuators on the outer surface of generators. Research conducted cavitation using aluminum foil.

Введение. Эффекты, сопровождающие явление ультразвуковой кавитации, обеспечивают высокую эффективность технологических процессов, связанных с обработкой жидких сред [1-3]. Эффективность достигается благодаря комплексному воздействию на жидкость ультразвуковых колебаний и разрушающихся кавитационных пузырьков. Колебания и разрушения пузырьков в ультразвуковой волне обеспечивают механическое, химическое и термическое воздействие на различные виды микроорганизмов [4, 5]. В отличие от известных способов обеззараживания ультразвуковая кавитационная обработка жидкости не требует применения опасных для здоровья человека и окружающей среды химических компонентов. Ультразвуковое кавитационное обеззараживание безопасно для окружающих и не требует квалифицированного обслуживающего персонала.

Для реализации технологических процессов, связанных с ультразвуковой кавитационной обработкой жидкости, наиболее предпочтительны аппараты с проточной цилиндрической кавитационной камерой (рис. 1.), вносящие минимальное сопротивление в существующие технологические трубопроводы [6].

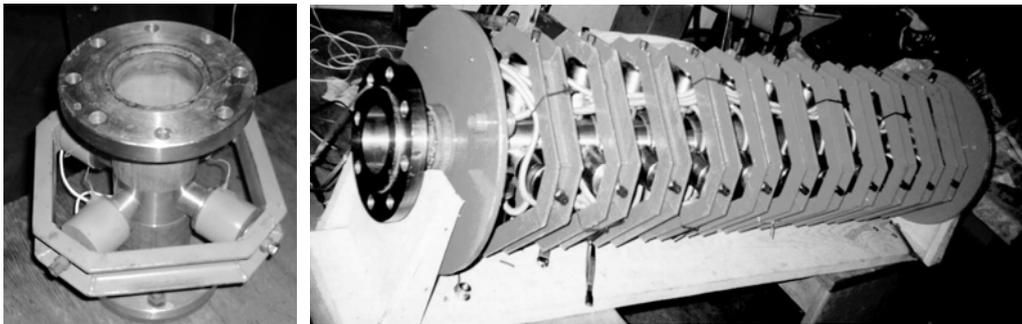


Рис. 1. Односекционная и многосекционная проточные толстостенные кавитационные камеры

Такие аппараты обычно используют радиально-изгибные колебания цилиндрического корпуса кавитационной камеры. Для их создания на наружной образующей поверхности устанавливают ультразвуковые резонансные излучатели. Радиально-изгибные резонансные колебания стенок камеры позволяют относительно равномерно распределить кавитационные области по сечению камеры. Жидкость, протекающая по такой трубчатой камере с рассредоточенным ультразвуковым полем (рис. 2.), подвергается средней по интенсивности равномерной кавитационной обработке, что позволяет получать качественные, долго не расслаивающиеся эмульсии, активировать жидкости и химические процессы и т.д. Однако такое рассредоточение ультразвукового поля не позволяет обеспечить высокую интенсивность колебаний, которая необходима для инактивации широкого спектра микроорганизмов, присутствующих в прокачиваемой жидкости.

Целью статьи является рассмотрение перспектив создания проточного ультразвукового кавитационного технологического оборудования с использованием фокусирующих особенностей излучающих поверхностей.

Основной материал. Для повышения интенсивности ультразвуковых колебаний в жидкости используют различные фокусирующие системы. Такие системы позволяют минимизировать потери энергии при введении ультразвуковых колебаний в жидкость и обеспечить достижение высокой интенсивности колебаний в фокальной области.

Известные сферические фокусирующие системы позволяющие получить, высокие интенсивности ультразвуковой энергии [6]. Однако такие аппараты не технологичны при необходимости обработки непрерывного потока жидкости.

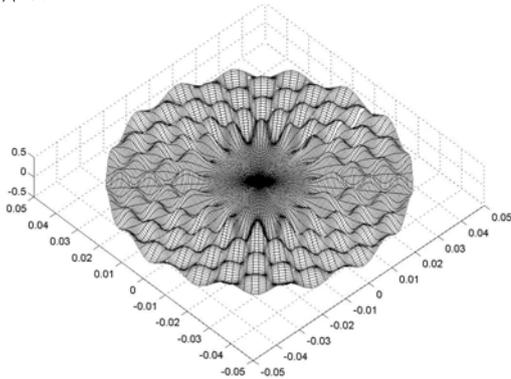
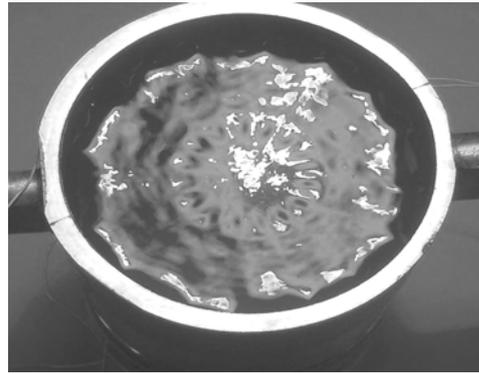


Рис. 2. Форма ультразвукового поля в жидкости при возбуждении радиально-изгибных колебаний



Концентрация ультразвуковой энергии вдоль оси цилиндрической проточной камеры может быть достигнута за счет возбуждения радиальной моды колебаний камеры [4] (рис. 3). В этом случае кавитационную камеру выполняют в виде отрезка трубы, длина которого меньше половины длины волны возбуждаемых в трубе резонансных радиальных колебаний (рис. 4). Такое условие обеспечивает чисто радиальные колебания трубчатого вибратора.

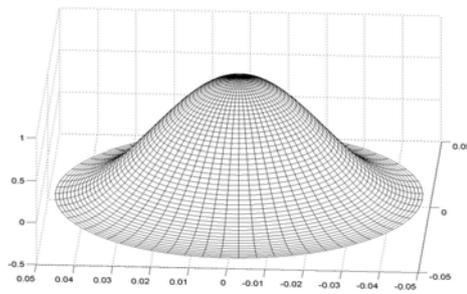


Рис. 3. Форма ультразвукового поля в цилиндрической камере при возбуждении радиальной моды колебаний

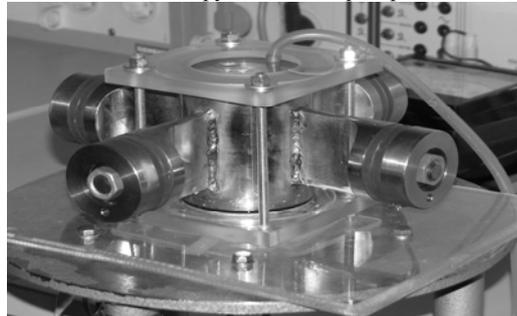


Рис. 4. Экспериментальная установка для исследования работы ультразвукового трубчатого кавитатора

На наружной поверхности вибратора устанавливаются полуволновые ультразвуковые приводы, выходные ступени трансформаторов скорости которых имеют ножевидную форму и размещены вдоль образующих цилиндрической поверхности камеры. Такая реализация формы трансформаторов скорости дает возможность эффективно передавать ультразвуковые колебания в трубчатый вибратор при минимальном искажении формы колебаний.

Экспериментальные исследования (рис. 4.) подтвердили эффект концентрации ультразвуковой энергии вдоль оси камеры при совершении радиальных колебаний (рис. 5). Такая конструкция позволяет достичь интенсивность ультразвука вдоль оси камеры порядка $50 \dots 60 \text{ Вт/см}^2$.

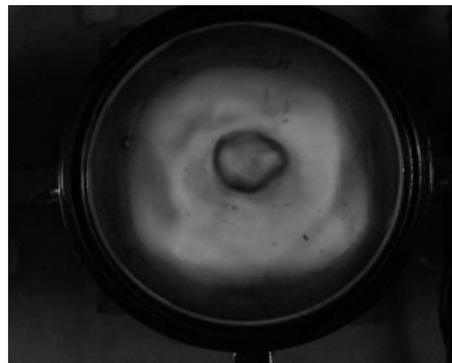
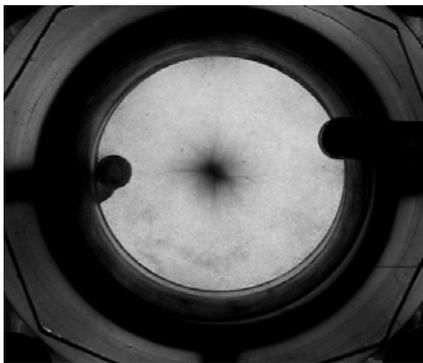


Рис. 5. Визуально наблюдаемый эффект концентрации ультразвуковой энергии в цилиндрической кавитационной камере, совершающей радиальные колебания различной интенсивности

Экспериментальное исследование распространения ультразвуковых колебаний, излучаемых кольцевым вибратором на радиальной моде колебаний вдоль оси трубопровода, показало быстрое угасание колебаний до уровня ниже порога кавитации (рис. 6). Размещение вдоль трубопровода с вставкой в виде кольцевого вибратора индикаторной алюминиевой фольги показало, что интенсивная кавитационная эрозия фольги наблюдается только в области вибратора (рис. 6.в).

Результаты экспериментов позволили рекомендовать для повышения производительности технологического оборудования, построенного на базе ультразвукового вибратора с радиальной формой колебаний, последовательно устанавливать несколько акустически развязанных подобных трубчатых вибраторов (рис. 7).

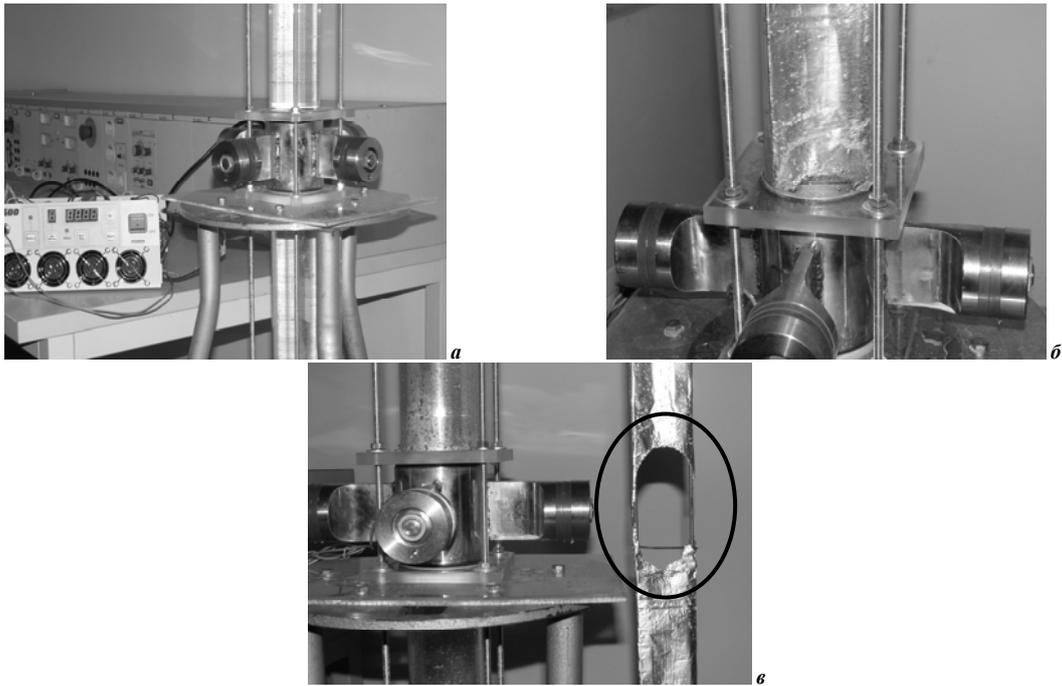


Рис. 6. Экспериментальная установка для исследования распространения ультразвуковой кавитации вдоль трубопровода (а - общий вид установки; б - расположение индикаторной фольги вдоль трубопровода; в - область кавитационного разрушения индикаторной фольги.)

В этом случае за счет большой поверхности излучения в жидкость удается ввести существенно большее количество ультразвуковой энергии. На внутренней поверхности колец при этом не образуется кавитационная прослойка, поглощающая и рассеивающая ультразвуковую энергию, а слабая кавитационная эрозия излучающей внутренней поверхности колец обеспечивает долговечность кавитационной камеры. В кавитационной камере конструктивно обеспечивается движение жидкости только по оси камеры, т.е. через область с максимальной интенсивностью ультразвуковых колебаний.

Выводы. Экспериментально подтверждена фокусирующая способность вибратора кольцевого вибратора, совершающего ультразвуковые радиальные колебания. Подтверждено, что использование для возбуждения вибратора ультразвуковых приводов с ножевидным трансформатором колебальной скорости позволяет наиболее эффективно ввести в вибратор ультразвуковую энергию, минимально искажая при этом радиальную форму колебаний вибратора.

Фокусирующие свойства такого вибратора позволяют достичь высокой интенсивности ультразвука, обеспечивающей инактивацию широкого круга микроорганизмов при протекании жидкости через центральную часть вибратора.

Показан путь создания промышленного ультразвукового технологического оборудования высокой производительности и долговечности.

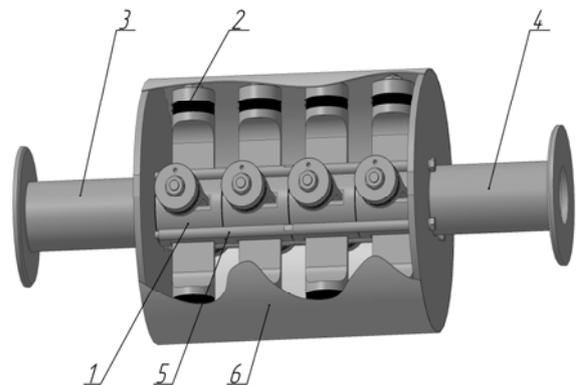


Рис. 7. Устройство ультразвуковой кавитационной проточной обработки (1 – кольцевой ультразвуковой вибратор; 2 – ультразвуковой излучатель; 3 - входной патрубок; 4 – выходной патрубок; 5 – стягивающая шпилька; 6 – корпус)

Список литературы.

1. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в химико технологических процессах / Новицкий Б.Г.-М.:Химия, 1983.-192с.
2. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах: / Вітенько Т.М.,-Тернопіль, (видавництво тернопільського державного університету імені Івана Пулюя). 2009.-224с.
3. Луговской А.Ф., Чухраев Н.В. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях.-К. Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2007-244с.
4. Эльпинер И.Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие. М., Физматгиз, 1963, 490 с.
5. Луговской А.Ф., Мовчанюк А.Ф., Гришко И.А. Оценка методов обеззараживания воды. – В кн.: Вестник Национального технического университета Украины “КПИ”. Машиностроение.- К.:НТУУ“КПИ”.-2007,-52,С.103-112.
6. Луговской А.Ф., Гришко И.А. Проблемы создания технологического оборудования для ультразвукового кавитационного обеззараживания воды. – В кн.: Промислова гідраліка і пневматика, № 4 (26),-Вінниця, 2009, с.3-6.
7. Луговской А.Ф., Мовчанюк А.Ф., Гришко И.А. Исследование рабочей зоны высокоамплитудного кавитационного ультразвукового привода. – В кн.: Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М.Остроградського. Вип. 2/2008 (49).Частина 2, -Кременчук, 2008, с.81-85