

УДК 621.647.23

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ВЫСОКОАМПЛИТУДНОГО
КАВИТАЦИОННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРИВОДА

*Луговской А.Ф., д.т.н., Мовчанюк А.В., к.т.н.,
Фесич В.П., Гришко И.С., магистр*

Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт”, м Киев

01056, г. Киев, просп. Победы, 37

E-mail: Salenko2006@ukr.net

Розглянуті питання, пов'язані з формою кавітаційної області, що утворюється в рідині при роботі високоамплітудного ультразвукового приводу. Показаний вплив на кавітаційну область поверхні кавітаційної камери обмеженого об'єму. Надані рекомендації із проектування технологічних апаратів із кавітаційними камерами, в яких використовуються високоамплітудні ультразвукові кавітатори.

Ключові слова: кавітація, порожнини, рух рідини, кавітаційні збудники

The questions connected with the form of cavitating area which is formed in a liquid at work of a high-amplitude ultrasonic drive are considered. Influence on cavitating area of a cavitations' chambers surface of the limited volume is shown. Recommendations on designing technological devices with cavitations' chambers in which are used high-amplitude ultrasonic cavitations are resulted.

Key words: ultrasonic cavitations, cavitating area, devices with cavitations' chambers

Введение. Явление ультразвуковой кавитации находит все более широкое применение в технике. Введение в жидкость акустических колебаний большой интенсивности приводит к зарождению и схлопыванию кавитационных пузырьков, возникновению акустических микротечений и пульсациям парогазовых пузырьков. Ударные волны и кумулятивные струи, возникающие при схлопывании кавитационных пузырьков, интенсивно разрушают твердые поверхности, что используется в технологическом процессе кавитационной очистки поверхностей изделий и борьбе с инкрустацией [1-3]. Акустические микротечения обеспечивают высококачественное удаление жировых пленок с поверхностей изделий и перемешивание жидкостных компонентов на молекулярном уровне, что позволяет получить высококачественные стойкие эмульсии [4]. Высокие давления и температура, возникающие в микрообъемах при схлопывании кавитационных пузырьков, создают условия для возникновения в них электрических зарядов, богатых энергией диссоциированных и ионизированных молекул, а также атомов и свободных радикалов, т.е. активируют жидкости [5].

Ударные волны, давление, высокие температуры и интенсификация химических процессов, сопровождающие ультразвуковую кавитацию, обеспечивают бактерицидный эффект кавитации [6,7], что позволяет использовать явление ультразвуковой кавитации для построения эффективных и безопасных для человека аппаратов для обеззараживания воды.

Эффективность технологической аппаратуры, использующей явление ультразвуковой кавитации, в значительной степени зависит от способа введения в жидкость ультразвуковой энергии, от размеров и конфигурации кавитационной камеры, от условий размещения в кавитационной камере обрабатываемых

изделий и конструкционных элементов. Пренебрежение указанными факторами может существенно снизить эффективность кавитационной обработки.

Цель работы. Исследование влияния на кавитационную область ультразвукового излучателя формы и объема кавитационной камеры.

Материал и результаты исследования. Для введения в жидкость ультразвуковой энергии используют ультразвуковые преобразователи. В последнее время, благодаря разработке новых высокоэффективных составов пьезокерамики, ультразвуковые преобразователи для кавитационных камер и ванн строятся на базе пьезокерамических преобразователей Ланжевена. При этом используются как непосредственно полу-волновые преобразователи Ланжевена, устанавливаемые на боковых и донных поверхностях кавитационных ванн и согласованные с жидкой средой, благодаря увеличенной площади смоченной поверхности излучения, так и преобразователи Ланжевена, оснащенные ультразвуковыми трансформаторами скорости с образованием полу-волновых и одно-волновых акустических систем [8].

В первом случае пьезоэлектрический преобразователь создает малоамплитудные колебания заданной резонансной частоты. При этом в объеме жидкости образуются кавитационные пузырьки при низком и среднем уровне интенсивности ультразвуковой энергии (до 6 Вт/см²). Однако, благодаря увеличенной площади смоченной поверхности излучения, область кавитации получается обширной. В подобных ваннах с помощью нескольких излучателей удастся облучить весь объем ванны и добиться уровня развитой кавитации (рис. 1).

При совпадении резонансных размеров ванны с частотой излучения преобразователя в объеме жидкости устанавливается стоячая волна деформации. При

этом в узлах и пучностях волны деформации концентрируются кавитационные пузырьки определенного диапазона размеров (рис. 2). Вблизи поверхности излучателя располагается область с максимальной интенсивностью кавитации.

Однако кавитационная прослойка на поверхности излучателя является экраном для прохождения ультразвуковых колебаний в объем жидкости. Поэтому чрезмерный рост этой прослойки ограничивает возможности повышения вводимой в жидкость ультразвуковой энергии.

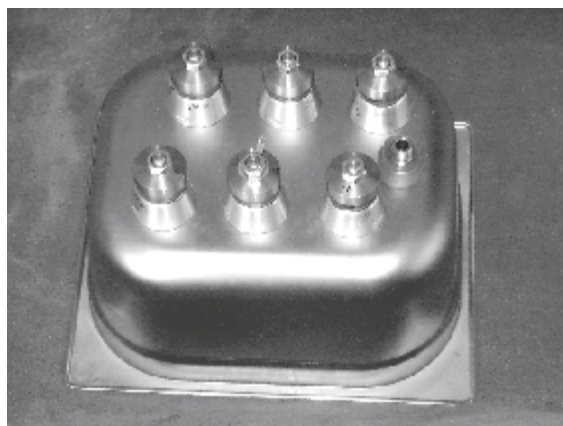


Рисунок 1- Ультразвуковая кавитационная ванна с полуволновыми ультразвуковыми преобразователями Ланжевена на днище

В результате изделие, помещенное в подобную кавитационную ванну, будет очищаться неравномерно. Наиболее интенсивная кавитационная эрозия будет наблюдаться в узлах и пучностях стоячей волны деформации. Для получения равномерной эрозионной обработки поверхности изделий в ванне известными приемами стремятся создать диффузное ультразвуковое поле, в котором перемешиваются узлы и пучности [8]. Однако при этом наблюдается снижение среднего уровня интенсивности кавитации. Подобного рода ультразвуковые ванны широко применяются в качестве моющих и чистящих.

Высокоамплитудные ультразвуковые излучатели устанавливаются вертикально в верхней части кавитационной ванны или камеры. Подобное расположение вызвано необходимостью сохранить несмоченной ступень большего диаметра трансформатора скорости (в случае выполнения трансформатора скорости ступенчатым), чтобы не допустить снижения эффективности излучения из-за стока с этой поверхности ультразвуковой энергии непосредственно в жидкую среду. При таком варианте расположения излучателя и совпадении длины волны его резонансной частоты с резонансными размерами ванны в объеме ванны также устанавливается стоячая волна деформации (рис. 3). Область максимальной интенсивности кавитации находится при этом в верхней части кавитационной камеры.

Особенности расчета, конструирования и применения высокоамплитудных ультразвуковых излучателей подробно рассмотрены в работе [9].

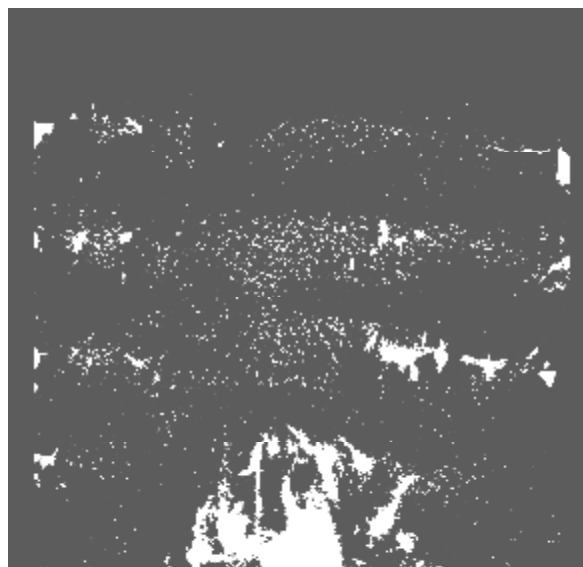


Рисунок 2 – Расположение кавитационных прослоек по глубине ванны в случае установки ультразвукового излучателя на донной поверхности

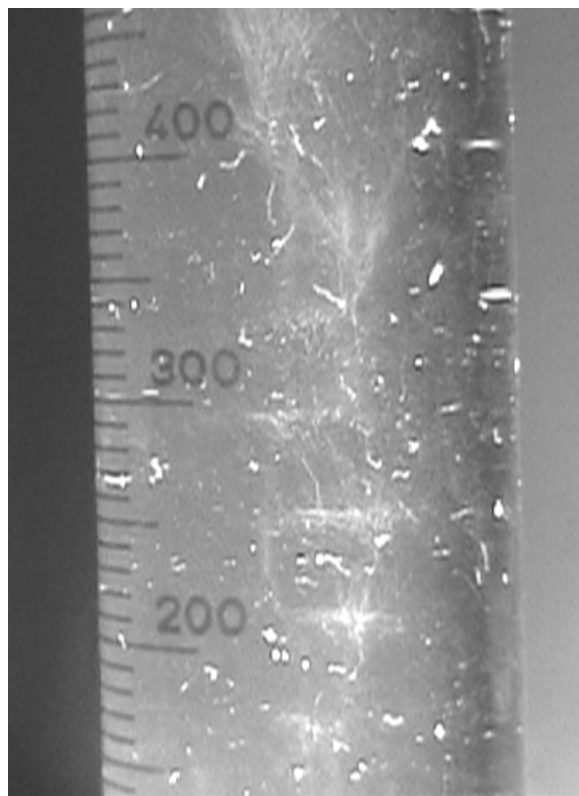


Рисунок 3 – Расположение кавитационных прослоек по глубине ванны в случае установки ультразвукового излучателя в верхней части кавитационной камеры

При излучении ультразвуковой энергии в условно неограниченный объем жидкости диаграмма направленности излучения имеет симметрично расширяющийся вид. Это хорошо иллюстрирует технологиче-

ский процесс дегазации в условно неограниченном объеме жидкости (рис. 4). Интенсивность ультразвукового поля, а, следовательно, и кавитации снижается по мере удаления во всех направлениях от поверхности излучения. Для осуществления дегазации всего объема жидкости при таком излучателе необходимо обеспечивать постоянную смену объемов жидкости в зоне излучателя или допускать большую выдержку времени для постепенной обработки всего объема жидкости (рис. 5).

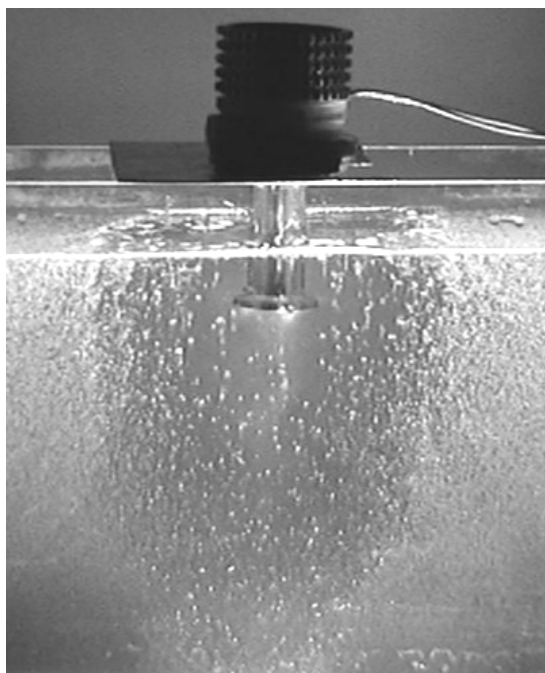


Рисунок 4 – Форма кавитационной области высокоамплитудного излучателя в неограниченном объеме жидкости (начальная стадия процесса дегазации)

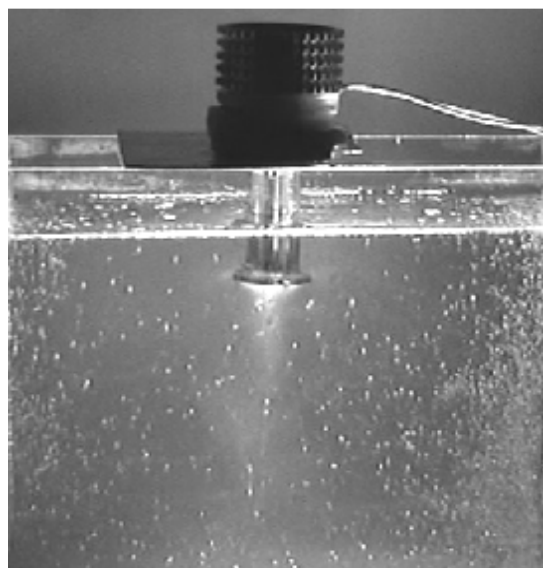


Рисунок 5 – Постепенное расширение зоны дегазации в объеме жидкости

Известно, что эффективность обеззараживания воды с помощью ультразвуковой кавитации, т.е. количество единиц и количество разновидностей обезвреживаемых микроорганизмов пропорционально интенсивности, вводимых в жидкость ультразвуковых колебаний. При введении колебаний с выходного торца ультразвукового трансформатора скорость в жидкость интенсивность резко падает за счет расширяющейся диаграммы направленности излучения, а также за счет кавитационной прослойки, образующейся вблизи торцевой поверхности излучения трансформатора скорости (рис. 4).

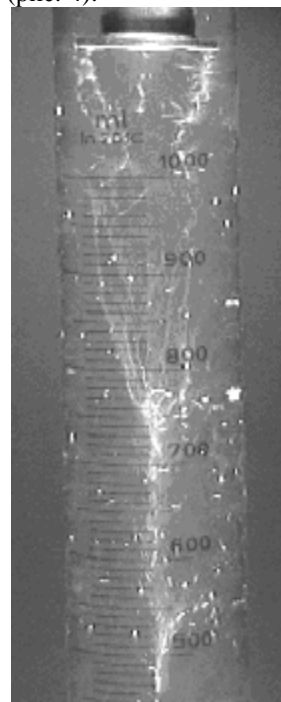


Рисунок 6 – Картина распространения кавитационных тяжей в камере

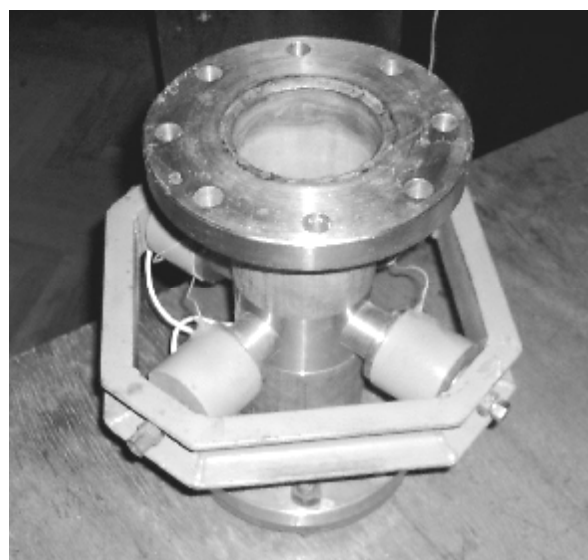


Рисунок 7 – Ультразвуковой проточный кавитационный аппарат с радиальным расположением излучателей

Путем выбора формы кавитационной камеры можно добиться фокусировки ультразвуковой энергии в фокальной области, например, в центре сферической камеры или по оси цилиндрической кавитационной камеры (рис. 6).

Подобная фокусировка достигается за счет отражения ультразвуковых волн от внутренней поверхности камеры и позволяет достичь высокой интенсивности ультразвуковой энергии на удаленном расстоянии от поверхности излучателя.

В технологических процессах, связанных с ультразвуковой обработкой жидкости в потоке, важным параметром является продолжительность облучения, определяющая допустимую скорость движения жидкости. Поэтому вытянутая цилиндрическая форма кавитационной камеры в подобном случае с концентрацией ультразвуковой энергии по оси камеры наиболее предпочтительна. Грамотный выбор резонансных размеров камеры и внутренних отражающих торцевых поверхностей в направлении распространения ультразвуковой волны позволяет достичь в кавитационной камере максимальный уровень кавитации. Концентрация ультразвуковой энергии по оси камеры позволяет снизить уровень кавитационной эрозии на внутренней поверхности камеры. Это позволяет применять менее кавитационно стойкие и, соответственно, менее дорогостоящие материалы.

Если в цилиндрической кавитационной камере ультразвуковые излучатели установить не по оси, а радиально на наружной образующей поверхности (рис. 7), то цилиндрическая камера, выполняя роль резонатора с радиальными и радиально-изгибными колебаниями, также концентрирует ультразвуковую энергию и, в зависимости от моды возбуждаемых колебаний, позволяет создать ультразвуковые поля, представленные на рис. 8 и рис. 9 [5].

Полученные расчетным путем формы подтверждают минимальный уровень кавитации на внутренней поверхности камеры и максимальный – в ее центральной части. Максимальная эффективность кавитационной обработки в такой камере обеспечивается при сохранении формы поля при размещении в камере, например, фильтрующего элемента, который, находясь в кавитационной среде, не будет подвержен засорению.

Выводы. Проведенные исследования показывают, что выбором способа введения ультразвуковых колебаний в жидкость, т.е. выбором типа ультразвукового кавитационного привода, а также учетом геометрических параметров кавитационной камеры можно обеспечить создание ультразвукового поля, максимально удовлетворяющего заданному технологическому процессу. Знание картины ультразвукового поля позволяет наиболее рационально расположить в нем очищаемое изделие, сохранив при этом максимальный уровень кавитации. Для реализации технологического процесса обработки жидкости наиболее перспективными являются цилиндрические камеры повышенного давления с осевым или радиальным расположением ультразвуковых приводов.

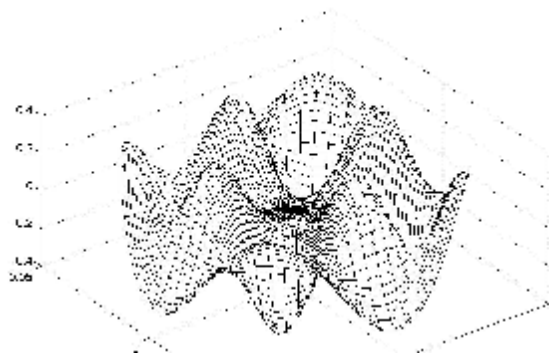


Рисунок 8 – Форма ультразвукового поля в цилиндрической камере при четырех ультразвуковых излучателях и второй моде колебаний

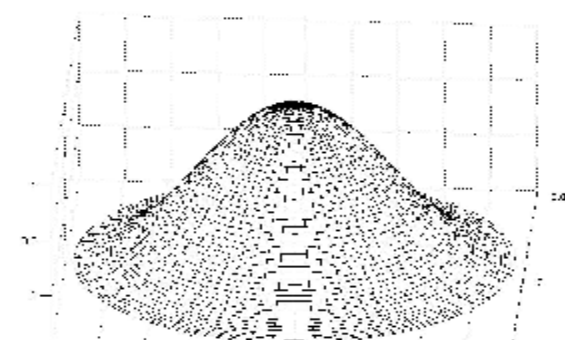


Рисунок 9 – Форма ультразвукового поля в цилиндрической камере при возбуждении нулевой моды колебаний

ЛИТЕРАТУРА

1. Панов А.П. Ультразвуковая очистка прецизионных деталей. – М.: Машиностроение, 1984. - 88 с.
2. Луговской А.Ф., Чухраев Н.В. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях. – К.: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”, 2007.- 244 с.
3. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / Глав. ред. И. П. Голямина. - М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
4. Эльпинер И.Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие. – М.: Физматгиз, 1963. – 420 с.
5. Луговской А.Ф., Мовчанюк А.В., Чорный В.И. и др.. Повышение эффективности ультразвуковой кавитационной очистки в ваннах малого объема //Промислова гідравліка і пневматика, 2007. – 1(15) – С. 40-43.
6. Мовчанюк А.В., Луговской А.Ф., Фесич В.П. и др. Расчет и конструирование высокоамплитудных ультразвуковых кавитаторов //Промислова гідравліка і пневматика. – 2007. – 3(17). – С. 15-18.

Стаття надійшла 05.05.2008 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Саленком О.Ф.