

В данном случае необходимы дополнительные исследования для уточнения механизма наблюдавшихся явлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стеблева О.В., Верещагин А.Л., Леонов Г.В. // Ползуновский вестник – 2008. - № 1-2. – С. 38-41.
2. Clemens Burda, Xiaobo Chen, Radha Narayanan, and Mostafa A. El-Sayed // Chem. Rev. – 2005. – V. 105. - P. 1025-1102.

3. Jun-Jie Zhu, Hui Wang, Shu Xu, and Hong-Yuan Chen Sonochemical // Langmuir. – 2002. – V. 18.- P. 3306-3310.
5. Верещагин А.Л. Детонационные наноалмазы. - Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2001. – 137 с.
6. Флинн Г. // Физическая акустика. – 1967. - Т. 1. - С. 7-138.
7. Pan, Zicheng; Sun, Hong; Zhang, Yi; and Chen, Changfeng.// Physical Review Letters. - 2009. – V. 102.– P. 055503.
8. Шумилова Т.Г., Янулова Л.А. // Патент РФ 2080289 от 27.05.97.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИИ В ВОДЕ

А.В. Куничан, Г.В. Леонов

В работе представлены результаты исследования ультразвуковой кавитации, создаваемой в камере кавитационного акустического широкополосного излучателя (КАШИ).

Ключевые слова: кавитационный кластер, широкополосный ультразвук, жидкость

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ультразвуковая кавитация используется в промышленности в качестве интенсифицирующего фактора, хотя является не до конца изученным и плохо прогнозируемым явлением. Хорошо известны условия возникновения кавитации, однако сам процесс и механизм ее протекания до сих пор является предметом научных дискуссий. Известные в настоящее время математические описания процессов акустической кавитации - фрагментарны, недостаточно точны и, посему, малопригодны в качестве основы для математических моделей, которые могли бы использовать при проектировании технологических процессов и аппаратов и управлении ими.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для реализации возможности исследования кавитации на кафедре МСИА БТИ были разработаны конструкции гидрофона [1] и кавитационного излучателя акустических колебаний широкого спектра [2]. Конструктивная схема излучателя представлена на рисунке 1. Фотографии излучателя представлены на рисунках 2 (в собранном виде) и 2 (УЗ вибратор и стакан расстыкованы).

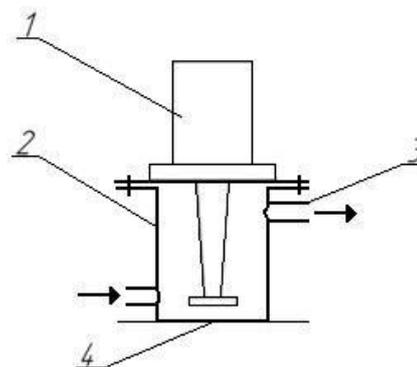


Рисунок 1. Конструктивная схема кавитационного акустического широкополосного излучателя (КАШИ)

Он состоит из ультразвукового излучателя 1 [3] и стакана 2, выполненного из нержавеющей стали. Стакан снабжен патрубками 3 для организации циркуляции воды. Дно стакана выполнено в виде стальной мембраны 4 толщиной 0,23 мм.



Рисунок 2 – Кавитационный широкополосный акустический излучатель

При работе такого излучателя в результате взаимодействия с находящейся в стакане жидкостью возникает кавитационный кластер, являющийся излучателем широкого спектра колебаний, вызываемых схлопыванием кавитационных пузырьков. Эти колебания через мембрану могут передаваться во внешнюю газовую, жидкую или твёрдую фазу.

Возможность передачи высокочастотных колебаний через металлическую мембрану разработанного излучателя была показана в работе [2].



Рисунок 3 – Кавитационный широкополосный акустический излучатель (УЗ вибратор отсоединён)

В данной работе проведено инструментальное исследование ряда эффектов, характеризующих работу КАШИ на различных режимах.

Для исследований акустических колебаний мембраны был использован пьезоцип.

Эксперименты проводили при различных значениях мощности излучателя, температуре охлаждающей жидкости 40 °С. Для анализа характера колебаний измерения проводились с использованием ФНЧ с частотой среза 200 кГц.

Замеры проводились следующим образом: датчик приводили в контакт с мембраной, генератор включали на минимальной мощности. Затем мощность постепенно увеличивалась. Сигнал регистрировали с использованием осциллографа.

На рис 4 представлено изображение колебаний на экране осциллографа, полученных при мощности излучения 31,28 Вт (Минимальная устойчивая мощность для генератора использованной УЗ колебательной системы при температуре 40 °С).

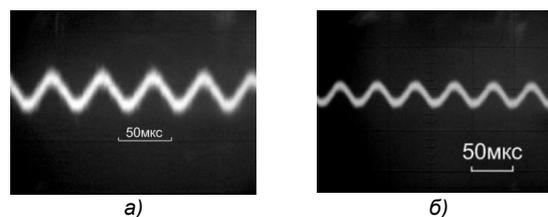


Рисунок 4 – изображение сигнала на экране осциллографа при мощности излучателя 31,28 Вт. а)- без фильтра, б) – с фильтром

Форма сигнала близка к синусоидальной. Развитая кавитации отсутствует.

В момент установления величины мощности излучателя равной 60 Вт сигнал принял треугольную форму (рисунок 5). В этот же момент отмечено появление акустических шумов, характерных для неразвитой кавитации.

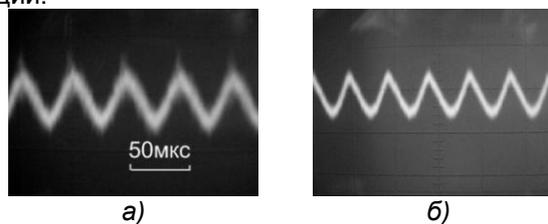


Рисунок 5 – изображение сигнала на экране осциллографа при достижении мощности излучателя 60 Вт. а)- без фильтра, б) – с фильтром

Через некоторое время после момента установления мощности величиной 60 Вт (10...20 с) отмечено возникновение развитой кавитации (рисунок 6).

Связанно это с тем, что при неразвитой кавитации вода постепенно насыщается пузырьками газа. При их достаточной концентрации зарождается кавитационный кластер. После чего происходит цепная реакция и кластер достигает устойчивого состояния.

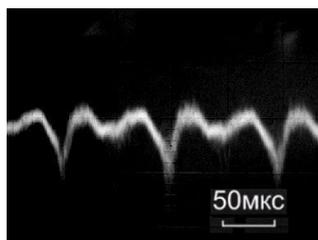


Рисунок 6 – изображение отфильтрованного сигнала на экране осциллографа при мощности излучателя 60 Вт после окончания формирования кавитационного кластера

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Процесс кавитации обладает достаточно хорошо выраженным гистерезисом, т.е. при некоторой мощности пьезоизлучателя можно добиться как наличия, так и отсутствия развитой кавитации.

При развитой кавитации сигнал имеет частоту равную $f_0/2 = 10$ кГц, где $f_0 = 20$ кГц рабочая частота УЗ пьезоизлучателя. Обнаружено, что в кавитационном кластере пузырьки схлопываются с разной интенсивностью при каждом последующем фронте внешней УЗ волны. Тем не менее, хорошо наблюдается периодичность высокой и низкой интенсивности схлопывания $f_0/2$.

Объяснений подобного эффекта может быть дано на базе следующих гипотетических построений.

Во-первых, это может быть связано с тем, что кавитационный кластер очень плохо пропускает звуковые волны. После первого интенсивного схлопывания кавитационных пузырей в зоне повышенного давления волны образуется очень много жизнеспособных кавитационных зародышей. При разрежении количество возникших пузырьков становится слишком большим и значительная часть энергии звуковой волны не проходит в толщу кластера. Как следствие, схлопывание происходит менее интенсивно, образуется меньшее количество жизнеспособных кавитационных зародышей и количество пузырьков перед следующим полупериодом повышенного давления УЗ волны не достигает такого количества как перед предыдущим, что увеличивает акустическую проводимость кавитационного кластера и, как следствие, повышение давления в текущем полупериоде. Схлопывание же пузырьков при этом происходит более интенсивно. Далее картина периодически повторяется.

Во-вторых, осцилляции кластера могут быть объяснены тем, что после эффективного схлопывания кластера, вода в месте схлопывания пузырьков оказывается сильно перегретой. Как следствие, из кавитационных зародышей образуются слишком большие пузыри, которые не успевают схлопнуться во время прохождения фронта повышенного давления внешней УЗ волны. Однако, эти пузыри успевают отдать достаточно тепла и во время последующей фазы разрежения не достигают некоторого критического размера, после превышения которого эффективного схлопывания в фазе повышенного давления волны не происходит.

Вероятно, описанные гипотетические эффекты не альтернативны, а величина преувеличения того или другого определяется режимными параметрами процесса кавитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведённые исследования показали, что кавитационный кластер, образующийся при прохождении моночастотного ультразвука через жидкую среду, представляет собой колебательную систему, взаимодействующую с внешним акустическим полем.

Исследования в данной области будут продолжены и направлены на оптимизацию преобразования акустической энергии, генерируемой первичным УЗ осциллятором, в акустическую энергию широкополосного спектра, излучаемую кавитационным кластером.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куничан А. В., Леонов Г. В. // Инновационные технологии: производство, экономика, образование: материалы Всероссийской научно-практической конференции.– Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2009.– С. 325-327.
2. А. В. Куничан. // Пищевые продукты и здоровье человека: Материалы III Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Кемерово, 2010. – С. 304-305.
3. В. Н. Хмелёв, Г. В. Леонов, Р. В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А. В. Шалунов Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве. Алт. Гос. Универ., БТИ.: издательство Алт. Гос. Университета. 2007. с 299-300.