

АКТИВНОСТЬ КАВИТАЦИИ В НЕОДНОРОДНОМ ПОЛЕ ЗВУКОХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

Белоцкий И.П., Ковальчук А.В., Ядловская В.Т., Ланин В.Л., Дежунов Н.В.
 Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
 г. Минск, Беларусь, E-mail: dnv@bsuir.by

В последние годы установлены новые многообещающие возможности применения мощного ультразвука, в частности, в звукохимии, медицине, электрохимии и при обработке пищевых продуктов[1–3]. При этом показано, что механизм воздействия ультразвука на физико-химические процессы в жидкостях в преобладающем большинстве применений имеет кавитационную природу, т.е. связан с явлением образования, пульсаций и захлопывания парогазовых полостей в жидкости.

Активность кавитации, понимаемая как интенсивность ее воздействия на тот или иной процесс определяется концентрацией кавитационных полостей в единице объема жидкости и эффективностью преобразования пузырьками энергии ультразвука в другие виды энергии. Известно, что активность кавитации зависит от множества факторов: свойств жидкости и ее температуры, концентрации зародышей кавитации и распределения их по размерам, условий отражения ультразвука на границе раздела фаз, объема рабочей жидкости, наличия обрабатываемых изделий в жидкости, акустической нагрузки на излучатель и многих других. Однако экспериментальных исследований по зависимости активности кавитации от упомянутых выше параметров до сих пор проведено мало. В частности, практически не исследован вопрос о распределении активности кавитации в объеме рабочей емкости, если результирующая волна является комбинацией бегущей и стоячей компоненты. А именно такой режим обычно реализуется в технологических установках.

В связи с изложенным в данной работе, была поставлена задача исследовать распределение активности кавитации в неоднородном ультразвуковом поле элементарной звукохимической ячейки, представляющей собой термостатированный цилиндрический стакан из нержавеющей стали, дно которого является излучающей поверхностью. Для генерирования ультразвука использовался пьезокерамический излучатель с резонансной частотой 34,6 кГц. Диаметр реакторного стакана – 78 мм, высота – 100 мм.

Для измерений активности кавитации использовался кавитометр ИСА-3М (БГУИР, г. Минск). Прибор состоит из гидрофона и электронного блока. Принцип действия кавитометра основан на спектральном анализе акустического сигнала, генерируемого кавитационной областью. Диаметр приемного элемента гидрофона 3мм. Кавитометр позволяет измерять (в относительных единицах) полную активность кавитации и вклад захлопывающихся пузырьков, т.е. активность нестационарной кавитации.

На рисунке 1 представлены результаты исследования распределения активности кавитации, где $A_{\text{к}}$ – активность кавитации, L – расстояние от излучателя на его оси до точки, в которой производится измерение. Измерения выполнялись в отстоящейся водопроводной воде при температуре $23 \pm 1^\circ\text{C}$ и уровне жидкости над излучателем 80 мм.

Как видно из приведенных данных, распределение включает максимумы и минимумы, расстояние между которыми равно примерно $\lambda/4$, где λ – длина звуковой волны. Однако характер распределения существенно отличается от теоретического. Наиболее интенсивный максимум наблюдается вблизи границы раздела



жидкость–газ. Кроме того, максимум на расстоянии $\lambda/4$ от излучателя практически отсутствует.

Это обусловлено следующими факторами. Во–первых, условия отражения не являются идеальными, поскольку высота столба жидкости не равна строго кратному числу $(n+1)\lambda/4$, где n – целое число. Во–вторых, измерения выполнялись при интенсивности ультразвука существенно выше порога кавитации. В кавитационной области ультразвук интенсивно поглощается, поэтому давление в отраженной волне заведомо меньше давления в падающей. В результате суммарное поле включает кроме стоячей компоненты также и бегущую.

На рисунке 2 представлены зависимости полной активности кавитации от расстояния H до стенки емкости при перемещении датчика по диаметру емкости в плоскости на расстояниях от излучателя 68 мм (кривая 1) и на расстоянии 58 мм (кривая 3), т.е. на расстояниях, соответствующих первому максимуму и первому минимуму от поверхности излучателя на расстоянии 6 мм от излучателя. Из представленных результатов видно, что и в данном направлении распределение активности кавитации – неоднородное. Максимум наблюдается в центре. На краях звукового поля, т.е. на расстояниях 35–40 мм от оси емкости измеренные величины почти в три раза меньше, чем в центре.

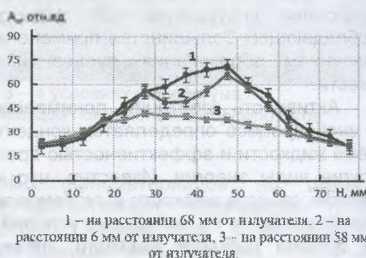
Данная закономерность сохраняется для всех режимов измерений и на всех расстояниях до излучателя. При этом на расстояниях, соответствующих максимуму переменного давления в стоячей волне наблюдается более сильная зависимость от H , т.е. при этих расстояниях активность кавитации падает сильнее при перемещении от центра ванны к краю.

Такой характер зависимости активности кавитации от H связан с тем, что интенсивность звукового поля плоского круглого излучателя максимальна на оси звукового луча. Отметим также, что зависимости от H не являются строго симметричными относительно центральной оси (32,5 мм).

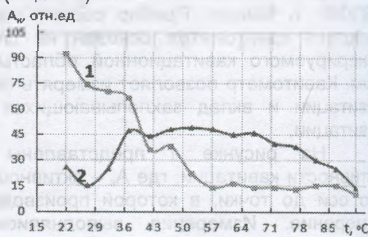
На рисунке 3 представлены зависимости A_k от температуры для расстояний от излучателя, соответствующих максимуму и минимуму на зависимостях от A_k (L), рисунок 1.

Как видно из представленных графиков, зависимости активности кавитации от температуры существенно различаются для разных точек поля. В точке максимума активность кавитации падает с ростом температуры, а в точке минимума – имеет вид кривой с максимумом.

В областях вблизи минимумов звукового давления на активность кавитации оказывают воздействие два конкурирующих фактора: увеличение концентрации кавитационных полостей, с одной стороны, и уменьшение эффективности их захлопывания вследствие снижения поверхностного натяжения жидкости и повышения давления насыщенного пара. Характер зависимости, представленной на рисунке 3, позволяет предположить, что при низких температурах ($\leq 60^\circ\text{C}$) преобладающим является первый фактор и активность кавитации в этом диапазоне растет с ростом температуры. При высоких температурах все большую роль играет уменьшение



1 – на расстоянии 68 мм от излучателя, 2 – на расстоянии 6 мм от излучателя, 3 – на расстоянии 58 мм от излучателя.
Рисунок 2 – зависимость полной активности кавитации от расстояния до стенки емкости



1 – на расстоянии 68 мм от излучателя, 2 – на расстоянии 58 мм от излучателя
Рисунок 3 – зависимости активности кавитации от температуры жидкости

скорости захлопывания пузырьков, что и приводит к уменьшению активности кавитации.

В областях, соответствующих максимумам активности кавитации, оба упомянутых выше фактора действуют в одном направлении, снижая активность кавитации.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Список литературы:

1. Tudela, J., Zhang, Y., Pal M. Ultrasound-assisted electrode position of composite coatings with particles. // *Surface and Coatings Technology*. – 2014. – №2.
2. Шестаков С.Д., Красуля О.Н. // Исследования и опыт применения сонохимических технологий в пищевой промышленности. Электронный журнал «Техническая акустика». <http://www.ejta.org>. – 2010. – №10.
3. Chemat F., Zill-e-Huma, Khan M.K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2015. – V18. – P.813–835.
4. Mason T. J. Therapeutic ultrasound an overview // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2011. – №18. – С. 847–852.