

## ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ КАВИТАЦИИ В ПОЛЕ ПОГРУЖНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

**Минчук В.С., Шебеко В.П., Дежунов Т.А.**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Беларусь, slava.minchuk@bk.ru, dnv@bsuir.by*

Погружные ультразвуковые излучатели с волноводом-концентратором используются для интенсификации физико-химических процессов в жидкостях в промышленности и научных исследованиях уже несколько десятилетий [1, 2]. Их основным преимуществом по сравнению с другими системами является возможность варьировать амплитуду колебаний в широком диапазоне – вплоть до 100 мкм и осуществлять локальное интенсивное воздействие. Исследование активной зоны кавитации и оценка ее размеров представляет значительный интерес с двух точек зрения: для оптимизации режимов ультразвуковых технологических процессов и для анализа возможности использования таких излучателей при создании оборудования с высокой степенью воспроизводимости кавитационных режимов ультразвуковой обработки.

В данной работе приводятся результаты апробации двух методов оценки размеров активной зоны кавитации: по скорости разрушения алюминиевой фольги, размерам разрушенной части образца и с использованием спектрального анализа кавитационного шума.

Для генерирования кавитации использовался ультразвуковой погружной пьезокерамический излучатель с диаметром излучающей поверхности 15 мм и ультразвуковой генератор УЗГ-58-22. Резонансная частота излучателя - 21 кГц.

В качестве эрозионных тест-образцов использовались полоски алюминиевой фольги толщиной 12 мкм, которые размещались на расстоянии 1 мм от излучателя (рис. 1). В экспериментах по разрушению фольги варьировались: интенсивность ультразвука и время экспозиции тест-образцов в кавитационной области.

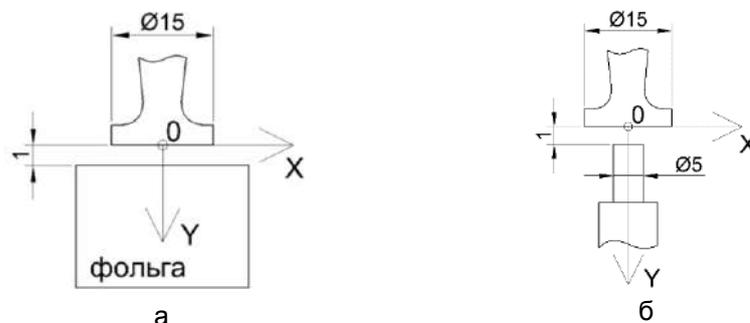


Рисунок 1 – Схема проведения экспериментов:  
а – метод эрозионных тестов; б – спектрально-акустический метод

При помощи спектрально-акустического метода производилось сканирование рабочей области под излучателем. Применялся пьезоэлектрический датчик с диаметром волновода 5 мм и кавитометр IC-3, БГУИР [3]. Размер области сканирования 30×15 мм, шаг – 1 мм по двум осям. В качестве оценки активности кавитации использовали интегрирование широкополосного шума в диапазоне 10-10000 кГц.

На рисунке 2 представлен результат эрозионного теста, общее время экспозиции – 300 секунд, амплитуда колебаний излучателя – 8,5 мкм. Разрушение образца во времени неравномерно. По оси Y глубина разрушения 3 мм соответствует 6-й секунде после включения ультразвука, 5 мм – 19-й секунде, 10 мм – 100-й секунде. После 40-й секунды разрушения по оси X шли более интенсивно, чем по оси Y. Максимальная глубина разрушения достигает 11 мм, ширина – 19 мм.

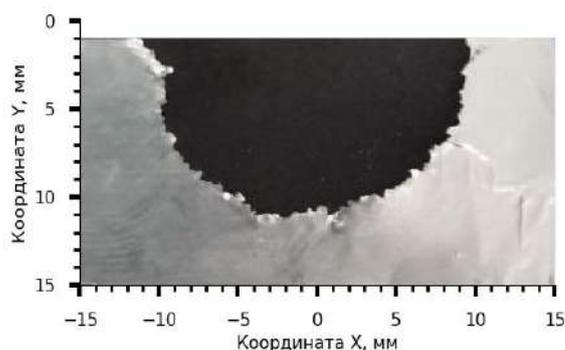


Рисунок 2 – Эрозия алюминиевой фольги в поле погружного ультразвукового излучателя; время экспозиции – 5 минут; амплитуда колебаний излучателя – 8,5 мкм.

На рисунке 3 представлен результат сканирования рабочей зоны спектрально-акустическим методом. Более темный цвет соответствует большим показаниям кавитометра. Максимальные показания кавитометра наблюдаются в узкой области вблизи излучателя на расстоянии 2–3 мм по вертикали и 8–12 мм по горизонтали. Непосредственно вблизи излучателя размеры темной области на диаграмме соответствуют размерам излучателя. При удалении от него эффективная область сужается, что соответствует результатам эрозионного теста. На расстоянии свыше 8 мм показания кавитометра практически равномерны во всей сканируемой области и составляют 75–100 относительных единиц.

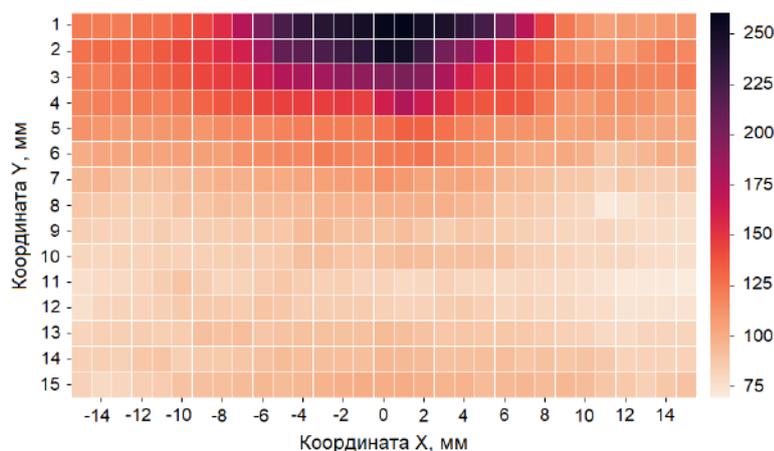


Рисунок 3 – Тепловая карта активности кавитации в поле погружного ультразвукового излучателя

Для более детального анализа результатов спектрально-акустического метода рассмотрим на рисунке 4 графики зависимости активности кавитации при перемещении датчика в горизонтальной плоскости (ось X) при различных расстояниях от излучателя (ось Y). На расстоянии 1 мм от излучателя наибольшие показания кавитометра (230–250 отн. ед.) наблюдаются на расстоянии  $\pm 5$  мм от центра излучателя, при дальнейшем удалении от центра наблюдается резкое падение показаний вплоть до 120 отн. ед. и последующий выход на плато при удалении свыше 10 мм. При удалении от излучателя размеры колоколообразного пика сокращаются и постепенно приходят к равномерному распределению.

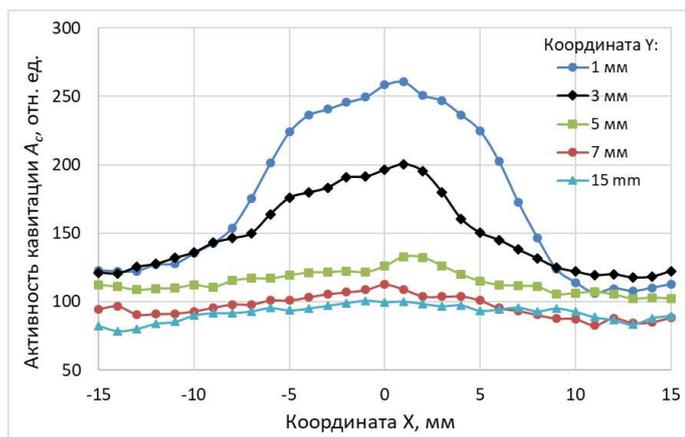


Рисунок 4 – Распределение активности кавитации в поле погружного ультразвукового излучателя

Приведены результаты апробации двух методов оценки размеров активной зоны кавитации в поле погружного излучателя: по скорости разрушения алюминиевой фольги и с использованием спектрального анализа кавитационного шума. Показано, что скорость разрушения тест – образцов быстро уменьшается по мере удаления от излучателя; в результате активная зона сосредоточена в пределах нескольких миллиметров от излучающей поверхности.

Интенсивность кавитационного шума падает с меньшей скоростью при удалении от излучателя. Полученные результаты указывают на необходимость совершенствования алгоритмов обработки спектра кавитационного шума, используемых в настоящее время в кавитометрах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Шалунов А.В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. – Бийск: Издательство Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, 2010. – 250 С.
2. Yusuf L., Symes M. D., Prentice P. Characterising the cavitation activity generated by an ultrasonic horn at varying tip-vibration amplitudes // Ultrasonics Sonochemistry. – 2021. – V. 70. – P. 105273.
3. Кавитометр [электронный ресурс]. – <https://cavitation.bsuir.by/ru/kavitometr>. – Дата доступа: 11.04.2024.