

УДК 620.193.16

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ АКТИВНОСТИ КАВИТАЦИИ И СПЕКТРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ КАВИТАЦИОННОГО ШУМА

ЖАРКО Н. А., СТАСЕВИЧ И. А., КРАСОВСКИЙ В. А., ДЕЖКУНОВ Н. В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

E-mail: n.zharko@bsuir.by

Аннотация. Выполнено исследование корреляции спектральных характеристик кавитационного шума и интенсивности звуколюминесценции (ЗЛ) в поле фокусирующего излучателя. Установлено, что в начальной стадии развития кавитационной области, интенсивность звуколюминесценции хорошо коррелирует с интенсивностью субгармоники (СГ) основного сигнала f_0 . Наибольшая степень корреляции с интенсивностью звуколюминесценции из исследованных параметров характерна для широкополосной составляющей кавитационного шума, т. е. интенсивности полного выходного сигнала датчика за вычетом всех гармоник и субгармоник.

Abstract. A study was made of the correlation of the spectral characteristics of cavitation noise and the intensity of sound luminescence in the field of a focusing emitter. It was found that in the range of intensities corresponding to the first stage of development of the cavitation region, the sound luminescence intensity correlates well with the subharmonic intensity of the main signal f_0 . At higher intensities, the greatest degree of correlation with the sonoluminescence intensity of the studied parameters is the broadband component of cavitation noise, i. e. intensity of the total sensor output signal minus all harmonic and subharmonic components.

Введение

Акустическая кавитация, представляющая собой явление образования, пульсаций и захлопывания микропузырьков газа в жидкости под действием переменного давления [1, 2] используется в промышленности уже несколько десятилетий.

К настоящему времени предложено значительное количество методов оценки уровня активности кавитации, основанных на регистрации эффектов, сопровождающих кавитацию [3]. Это такие явления как кавитационная эрозия, генерирование свечения в видимой области спектра – звуколюминесценция ЗЛ), кавитационный шум (КШ) [1, 2, 4]. Разработка приборов для исследования кавитации и измерения ее активности с использованием кавитационного является одним из наиболее перспективных направлений в данной области. Однако механизмы генерирования основных спектральных компонент КШ до сих пор достоверно не установлены.

Установка и методика исследований

Подробное описание использовавшейся установки представлено в работах [5, 6]. Пьезокерамический излучатель установлен в нижней части рабочей емкости, которая выполнена в виде цилиндра из нержавеющей стали высотой 160 мм и диаметром 100 мм. Излучатель – фокусирующий, его резонансная частота $f_0 = 720$ кГц. Датчик акустического сигнала (гидрофон) вмонтирован через крышку ёмкости и установлен за фокальным пятном излучателя на расстоянии 25 мм от него. В боковой стенке емкости на уровне фокального пятна установлен фотоумножитель Phillips XP1110 со световодом, использовавшийся для регистрации ЗЛ.

Сигналы с фотоумножителя и датчика подаются на двухканальный осциллограф Hewlett Packard 54601A. Для исследования спектров кавитационного шума к осциллографу параллельно подключался анализатор спектра Hewlett Packard E4411B. Для питания излучателя используется генератор УЗГ-08-01 (БГУИР, Минск).

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследований нами показано, что спектр акустического сигнала, генерируемого кавитационной областью, включает основную частоту f_0 , гармоники nf_0 , субгармонику $f_0/2$ и частоты $(n+1/2)f_0$, где n – целое число. Одновременно с возникновением кавитации регистрируется возникновение ЗЛ. С ростом интенсивности ультразвука растет интенсивность гармоник и других спектральных компонент КШ, появляется также непрерывная составляющая. При этом увеличивается также и интенсивность ЗЛ.

Таблица параметров, по которым проводилось исследование их корреляции с активностью кавитации, оцениваемой по интенсивности звуколюминесценции, представлена ниже.

Таблица 1. Параметры спектра кавитационного шума

Параметр H	Алгоритм вычисления параметра H
Power-1	Сумма всех точек спектра без основного сигнала
Power-123	Сумма всех точек спектра без основного сигнала (гармоника f_0) и без гармоник 1.5, 2, 2.5, 3
Power-12345	Сумма всех точек спектра без основного сигнала (гамоника 1) и без гармоник 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5
Power-All	Сумма всех точек спектра без основного сигнала и без всех гармоник и субгармоник $(n + 1/2)f_0$
Pnoise 12	Сумма точек спектра между основным сигналом и 2-й гармоникой (учитывается 1.5-я гармоника)

Таблица 1. Параметры спектра кавитационного шума

Параметр H	Алгоритм вычисления параметра H
Pnoise 12-1.5	Сумма точек спектра между основным сигналом и 2-й гармоникой (без 1.5-й гармоники)
Psignal	Интенсивность основного сигнала (сумма точек спектральной составляющей на частоте f_0)
Pharm 0.5	Мощность 0.5-й гармоники (субгармоника, частота в 2 раза меньше, чем частота основного сигнала f_0)
Psumhalfharm	Мощность всех субгармоник $(n + 1/2)f_0$

На рис. 1 приведены результаты сопоставления выходного сигнала фотоумножителя и параметров спектра КШ, наиболее близко коррелирующих с интенсивностью ЗЛ. Здесь спектральный акустический параметр (H) представлен в линейном масштабе, а выходной сигнал фотоумножителя (L) – в логарифмическом.

Из представленных графиков видно, что в диапазоне интенсивностей, соответствующих первой стадии развития кавитационной области ($U < 150B$, рис.1.а) интенсивность звуколюминесценции коррелирует с интенсивностью субгармоники основного сигнала, т.е. сигнала на частоте $f_0/2$. Однако при более высоких интенсивностях ультразвука зависимости $L(U)$ и $H(U)$ различаются кардинально, а именно: интенсивность ЗЛ растет с ростом интенсивности ультразвука, а H уменьшается. Примерно также зависит от U и параметр, полученный суммированием всех субгармоник (рис. 1.б). Отметим, что при интенсивности ультразвука порядка порога кавитации субгармоника коррелирует со звуколюминесценцией лучше остальных исследовавшихся параметров (рис. 1.а). Поэтому порог возникновения кавитации может определяться по появлению субгармоники в спектре КШ.

Хорошо согласуются с интенсивностью ЗЛ полная интенсивность КШ без первых трех гармоник и интенсивность КШ без всех гармоник и субгармоник (рис. 1.с и 1.д). Расхождения наблюдаются только при низких интенсивностях ультразвука, порядка порога возникновения ЗЛ.

Из представленных данных следует, что наибольшая степень корреляции с интенсивностью звуколюминесценции из исследовавшихся параметров характерна для широкополосной составляющей кавитационного шума, которая представляет собой интенсивность полного выходного сигнала датчика за вычетом всех гармонических и субгармонических составляющих.

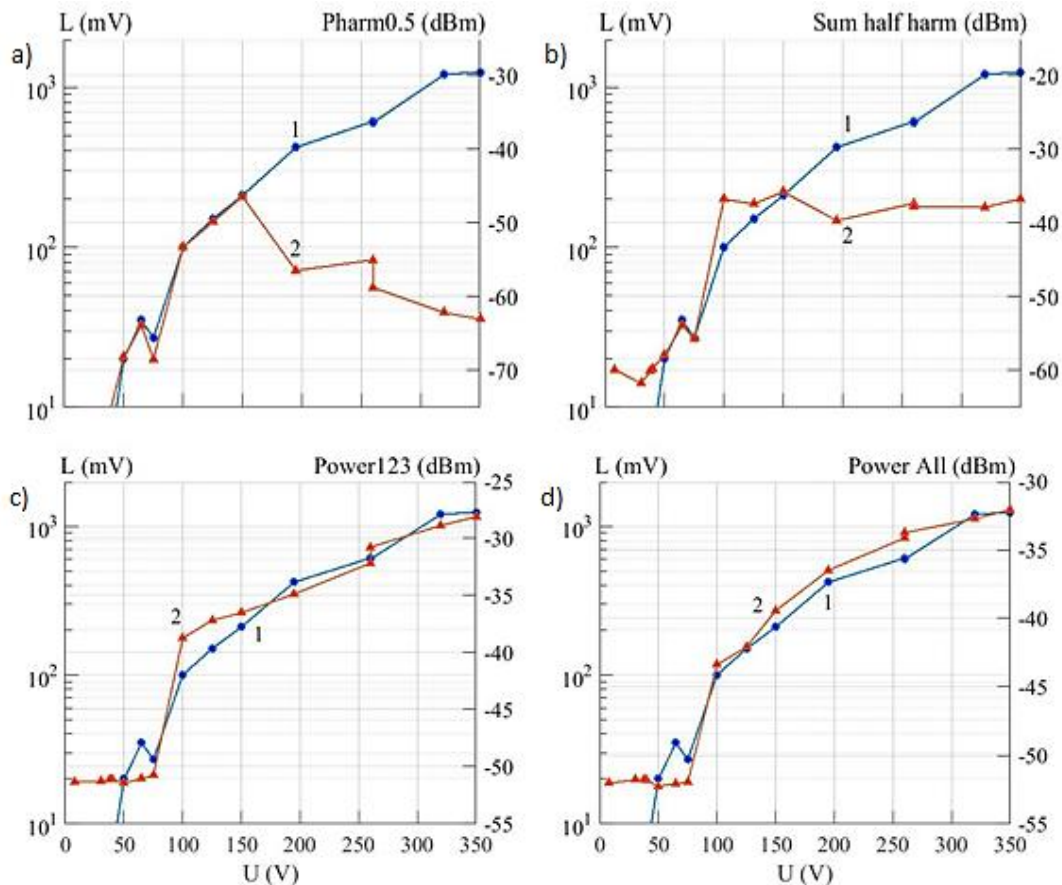


Рис. 1. Корреляция интенсивности звуколюминесценции и характерных параметров спектра кавитационного шума

1 – интенсивность ЗЛ, 2 – исследуемый параметр кавитационного шума; параметры шума: а – интенсивность первой субгармоники, б – суммарная интенсивность всех субгармоник; с – интенсивность КШ без трех первых гармоник; д – интенсивность КШ без всех гармоник и субгармоник

Заключение

Показано, что наибольшая степень корреляции с интенсивностью звуколюминесценции из исследованных параметров в широком диапазоне интенсивностей ультразвука характерна для широкополосной составляющей кавитационного шума.

Установлено, что в диапазоне интенсивностей ультразвука, соответствующих первой стадии развития кавитационной области интенсивность звуколюминесценции хорошо коррелирует с интенсивностью субгармоники основного сигнала f_0 , т.е. сигнала на частоте $f_0/2$.

Список использованных источников

1. Сиротюк М. Г. Акустическая кавитация / М. Г. Сиротюк // М.: Наука, 2008. – 271 с.
2. Leighton T. G. Acoustic Bubble / T. G. Leighton // Pergamon Press. – London, 1995. – 650 p.
3. Скворцов С. П. Методы контроля параметров ультразвуковой кавитации / С. П. Скворцов // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. – 2015. – № 2. – С. 83–100.
4. Dezhkunov N. V., Leighton T. G. The use of a capillary as a sensor of cavitation / N. V. Dezhkunov, T. G. Leighton // Nonlinear acoustics at the beginning of 21-t century; edited by O. Rudenko and O. Sapozhnikov. – Moscow. – 2003. – V. 2. – P. 1163–1166.
5. Dezhkunov N. V., Francescutto A., Serpe L., Canaparo R., Cravotto G. Sonoluminescence and acoustic emission spectra at different stages of cavitation zone development / N.V. Dezhkunov, A. Francescutto, L. Serpe, R. Canaparo, G. Cravotto // Ultrasonics Sonochemistry. – 2018. – V. 40. – P. 104–109.
6. Дежкунов Н. В., Francescutto A., Calligaris F., Николаев А. Л. Эволюция кавитационной области в фокусированном ультразвуковом поле / Н. В. Дежкунов, А. Francescutto, F. Calligaris, А. Л. Николаев // Письма в журнал технической физики. – 2014. Т. 40. – №16. – С. 73–79.