

УДК 532.528

## Исследование возможности непараметрического усиления многопузырьковой кавитации

С. Д. Шестаков

Некоммерческая организация "Российское акустическое общество.  
Вологодское региональное отделение", г. Вологда, Россия

*Рассмотрены математическая модель частного случая многопузырьковой кавитации и основанный на ней способ непараметрического усиления сжатия пузырьков в фазе коллапса. Усиление осуществляется за счет амплитудно-фазового управления несколькими порождающими кавитацию и независимыми одна от другой плоскоупругими гармоническими волнами одинаковой частоты. Дано описание экспериментальной установки и натурального эксперимента, результаты которого подтверждают адекватность модели и осуществимость способа.*

PACS: 43.35.-d, 65.20.-w

### Введение

Кавитацию изучают по явлению сонолюминесценции (СЛ), которое объясняют испусканием квантов света, нагреваемых в фазе сжатия пузырьков, до перехода в состояние плазмы содержимого пузырьков, достаточно близко описываемые законами теплового излучения. Причем одни исследователи это объяснение дают в отношении СЛ многопузырьковой кавитации (МПСЛ) [1], другие — только однопузырьковой (ОПСЛ) [2, 3], а некоторые находят и у ОПСЛ отличия от спектра нагретого тела [4].

В прикладных исследованиях для предотвращения либо, наоборот, направленного применения производимых кавитацией эффектов, главным образом кавитационной эрозии, пользуются различными способами измерения величины порождаемых кавитацией импульсов давления в жидкости — кавитационного шума.

Усиление, о котором пойдет речь, реализуется при кавитации, возникающей под действием упругих гармонических колебаний жидкости, изначально содержащей зародыши кавитационных пузырьков, равномерно распределенные в ее объеме и обладающие определенной функцией распределения их по размерам.

Под усилением кавитации будем понимать увеличение пропорциональной квадрату суммы импульсов давления, распространяемых совокупностью пульсирующих кавитационных пузырьков, плотности потенциальной энергии в заданной точке объема кавитирующей жидкости.

Результаты исследований СЛ показывают, что кавитация по достигаемым значениям давления в пузырьках при многопузырьковом процессе играет приблизительно на порядок однопузырьковому случаю [5, 6]. Достижение же в кавита-

ционной области хотя бы такого же уровня трансформации энергии, какой достигнут на одиночном пузырьке, даст возможность расширить сферу практического применения кавитации за пределы сонохимии и решить вопросы, связанные с таким активно исследуемым явлением, как соносинтез [7—9].

Известно, что бесконечное увеличение амплитуды звукового давления в жидкости с пузырьками, даже если не брать в расчет проблемы передачи в нее колебаний, в силу инерционности процесса пульсации пузырьков не приводит к пропорциональному увеличению трансформируемой на кавитации энергии [10]. Но в ограниченных пределах усиление можно осуществить путем управления параметрами процесса, т. е. подбирая жидкость и/или газ внутри пузырьков [4] с определенными сжимаемостью, плотностью, вязкостью и поверхностным натяжением на их границе, генерируя зародыши пузырьков определенного размера, а также увеличивая статическое давление, снижая температуру [6] и оптимизируя амплитуду переменного давления, т. е. управляя подводимой энергией. Эти способы являются способами параметрического усиления.

Ниже рассмотрен способ непараметрического усиления, инвариантный по отношению к любому из перечисленных параметрических способов и осуществляемый только за счет оптимизации соотношения размеров пространства, в котором действует кавитация, и фазового управления вызывающими ее гармоническими колебаниями.

### Математическая модель

Интеграл переменной составляющей давления на поверхности кавитационного пузырька, пульсирующего вместе с другими пузырьками в жид-

кости под воздействием гармонически изменяющегося внешнего давления, если считать кавитацию адиабатным процессом, должен обладать следующим, прямо вытекающим из закона сохранения энергии свойством:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \tilde{p} dt = 0. \quad (1)$$

Следовательно, импульс сжатия пузырька в среднем за бесконечно большое время должен быть равен импульсу разрежения. В противном случае среднее за период колебаний значение давления в нем будет неограниченно расти либо падать. Это приведет к самопроизвольному прекращению кавитации, чего в реальности не наблюдается. Но все говорит о том, что акустическая кавитация при отводе тепла рассеяния энергии вызывающих ее упругих колебаний на трении является самоорганизующимся процессом и стремится к равновесию, свойственному жидкости при любой амплитуде гармонического давления.

На рис. 1 приведены графики зависимости логарифма давления на поверхности кавитационного пузырька с диаметром покоя 1 мкм от амплитуды и фазы гармонически с частотой 20 000 Гц изменяющегося давления в химически чистой воде. Показаны пульсации за три произвольно взятых периода. Зависимости получены интегрированием системы дифференциальных уравнений пульсации одиночного пузырька типа Айвени-Хэммита [10]. Точность вычислительных процедур составляет  $10^{-15}$ ; дискретность интегрирования —  $5 \cdot 10^5$  шагов на период.

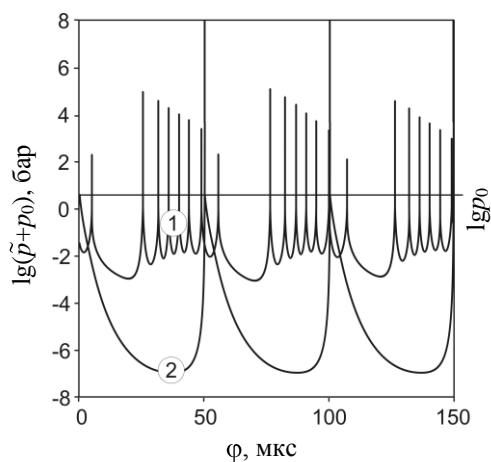


Рис. 1. Зависимость логарифма давления на поверхности пузырька диаметром покоя 1 мкм от амплитуды звукового давления и фазы волны при амплитуде звукового давления: 1 — 1 бар; 2 — 5,4 бар

Поскольку при пульсациях мгновенные значения давления на поверхности пузырька, его диаметра и скорости изменения этого диаметра связаны

известными соотношениями [10, 11], то средняя (за большое число периодов пульсации пузырька) линейная скорость распространяющейся от него деформации окружающей жидкости должна быть константой.

Можно показать, что функция (1) вблизи равенства цикла пульсации пузырьков обратному частоте  $f$  периоду гармонической волны (если время  $\tau$  и фаза  $\varphi$  выражены в долях этого периода) пренебрежимо мало отличается от кусочно-линейной функции вида [12]

$$p_0 G = p_0 [\tau + \varphi] - p_0 \tau, \quad (2)$$

где  $p_0$  — давление покоя в кавитационном пузырьке; квадратными скобками [ ] обозначена целая часть числа.

Производная от функции (2) в каждом периоде волны является обобщенной функцией типа  $\delta$ -Дирака. Если исходная аналитическая функция  $\tilde{p}$  имеет конечное значение при коллапсе, то производная от (2) имеет там точку разрыва 2-го рода. За малостью времени пребывания пузырька в объеме, меньшем равновесного, это не мешает в линейном приближении достоверно производить необходимое при вычислении плотности потенциальной энергии интегрирование по фазе квадрата давления.

На рис. 2 показаны графики зависимости интеграла по фазе  $\tilde{p}$  от амплитуды звукового давления и фазы волны для кавитационного пузырька. Видно, что (2) является хорошим приближением этой функции при соблюдении условия синхронности пульсаций пузырька с гармонической волной.

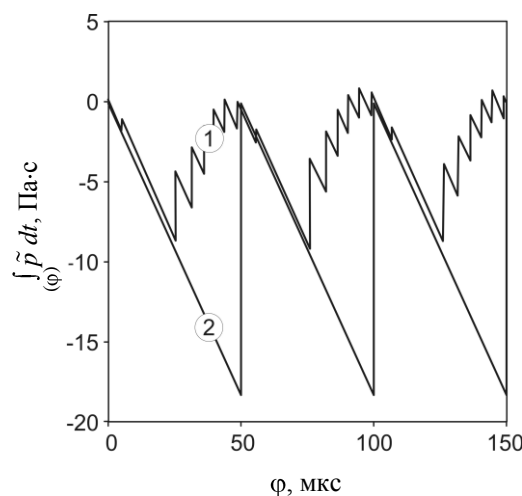


Рис. 2. Зависимость импульса давления на поверхности пузырька диаметром покоя 1 мкм от амплитуды звукового давления и фазы волны при амплитуде звукового давления: 1 — 1 бар; 2 — 5,4 бар

В работах [12, 13] описан вид распределения среднего значения плотности потенциальной энергии кавитации, выделяемой за период плоскоупругой гармонической стоячей полуволны в условиях допустимости использования функции (2). Пусть полуволна действует на протяжении бесконечно большого числа периодов в координатном пространстве  $[x, y, z]$ , которому принадлежит конечное число векторов  $v$ , соответствующее числу пульсирующих пузырьков  $N$  в подпространстве объема  $V$ , где они сосредоточены. Рассматривая интеграл по фазе  $\tilde{p}$  как фазовую функцию, можно заменить средние по геометрическому пространству характеристики средними по времени. Тогда, если пульсации пузырьков синериодичны с гармонической волной, как показано линией 2 на рис. 2, значение искомого распределения в произвольной точке координатного пространства будет иметь вид

$$w = \frac{\beta}{2} \left( \frac{N}{t_m V} \int_0^{t_m} \int_{(V)} \int \frac{r_0}{r_0 + \|v\|} \tilde{p} dV dt \right)^2, \quad (3)$$

$V \in [x, y, z],$

где  $\beta$  — адиабатическая сжимаемость жидкости;  
 $t_m$  — среднее время прихода в точку с координатами  $x, y, z$  возмущения давления от всех пузырьков;  
 $r_0$  — равновесный радиус пузырька;  
 $\|v\|$  — модуль вектора  $v$ ;  
 $\tilde{p}$  стоит под знаком двух интегралов, так как, являясь функцией времени в принятом представлении, является еще и функцией координат.

Выражение для средней за период гармонической волны плотности потенциальной энергии, используя (2) и опустив в (3) слагаемое  $r_0$  в знаменателе подынтегрального выражения за малостью и разделив переменные, можно записать в виде

$$\bar{w} = \frac{\beta}{2} (p_0 r_0 \frac{N}{\tau} \int_{(V)} \int \frac{1}{\|v\|} dV)^2 \int_0^1 G^2 d\varphi, \quad (4)$$

где  $\tau = \frac{1}{\lambda V} \int_{(V)} \int \|v\| dV$  — безразмерное среднее

время прихода возмущения давления от всех пузырьков в точку с координатами  $x, y, z$  (функция координат);

$\lambda$  — длина пробега деформации за период гармонической составляющей давления.

Пусть скалярные функции координат: среднее гармоническое  $\frac{V}{\int_{(V)} \int \frac{1}{\|v\|} dV} = m_h$  и среднее ариф-

метическое  $\frac{1}{V} \int_{(V)} \int \|v\| dV = m_a$  — расстояния от

произвольной точки пространства до всех пульсирующих в нем пузырьков являются скалярными метриками этого пространства. Тогда, принимая во внимание интерференцию упругих волн, зная закономерность затухания и скорость, с которыми деформация распространяется от точечного источника в жидкости, и выражая пройденное ею расстояние через время его прохождения, можно посредством выражений (2), (4) и введенных метрик найти  $\bar{w}$  в любой точке пространства в любой момент времени. Например, в частном случае плоскоупругой стоячей полуволны независимо от начала отсчета времени средняя за ее период плотность потенциальной энергии кавитации будет распределена в пространстве как

$$\bar{w} = w_0 C_{od}^2 N^2 \frac{\{\tau\} - \{\tau\}^2}{\tau^2}, \quad (5)$$

а среднеквадратичное значение импульса сжатия во фронте деформации — как

$$\bar{p}_c = p_0 (C_{od} N \frac{\sqrt{\{\tau\} - \{\tau\}^2}}{\tau} - 1), \quad (6)$$

где  $w_0 = \frac{\beta}{2} p_0^2$  — потенциальная энергия парогазовой смеси в зародыше кавитационного пузырька, сжатой под воздействием статического давления в жидкости и поверхностного натяжения (энергия покоя);

$C_{od} = \frac{r_0}{m_h}$  — коэффициент геометрического за-

тухания деформации;

$$\tau = \frac{m_a}{\lambda};$$

фигурными скобками  $\{ \}$  обозначена дробная часть числа.

Из (5) и (6) вытекает вывод о том, что с увеличением площади фронта гармонической волны до бесконечности плотность выделяемой за конечный отрезок времени потенциальной энергии кавитации в любой произвольной точке пространства не может превысить некоей константы, а сжатие находящегося там пузырька имеет предел [11]. Однако можно сформировать вокруг этой точки совокупность дискретных волн с кавитацией внутри каждой и усилить в ней импульс сжатия на этапе коллапса пузырька, установив фазы волн так, чтобы максимально синхронизировать распространяющиеся периодические деформации сжатия жидкости от кавитации в каждой такой волне с произвольными параметрами [14].

### Эксперимент

Экспериментальная проверка способа непараметрического усиления кавитации проведена в лаборатории ООО "Астор-С" (Вологда) посредством изготовленного по проекту автора кавитационного реактора с тремя резонаторами, образующими стоячие плоские полуволны с круглыми фронтами. Резонаторы в реакторе образованы тремя парами ультразвуковых промышленных процессоров UIP 250 Hielscher systems GmbH (Штутгарт). Управление амплитудой звукового давления в резонаторах осуществляется изменением расстояния между излучателями, а фазой — установлением задержки управляющего сигнала, подающегося на электронные схемы ультразвуковых генераторов от устройства синхронизации (рис. 3).

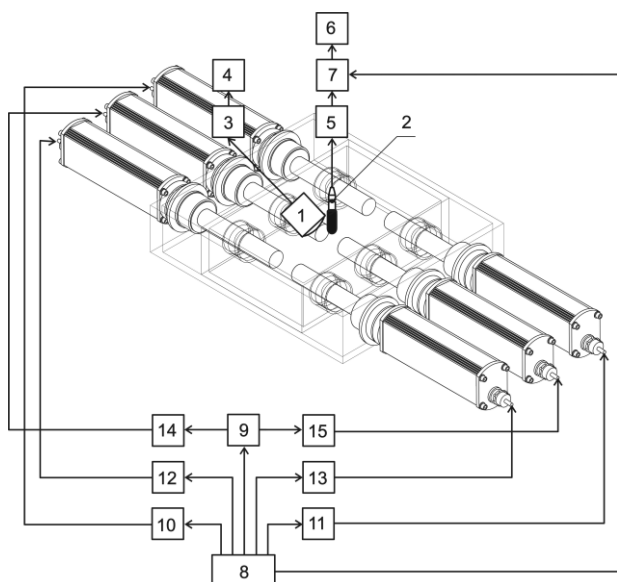


Рис. 3. Общий вид и принципиальная схема экспериментальной установки:

- 1 — фотоэлектронный умножитель; 2 — гидрофон;
- 3, 5 — усилители; 4, 6 — интеграторы; 7 — устройство стробирования; 8 — устройство синхронизации; 9 — линия задержки; 10—15 — ультразвуковые генераторы

#### Технические характеристики реактора, а также параметры и константы эксперимента

Максимальная потребляемая электрическая мощность (при всех работающих излучателях) $P$ , Вт.....	1500
Номинальная частота резонаторов $f$ , Гц.....	24000
Диаметр фронта плоскоупругой гармонической волны в резонаторе ( $\varnothing$ волновода) $D$ , мм.....	22
Расстояние между лучами волн (осями резонаторов) $L$ , мм.....	88
Гидростатическое давление в растворе $p_n$ , бар...	1
Температура раствора, $T_0$ , К.....	295±1
Максимальная амплитуда звукового давления $A$ , бар.....	20,8
Диапазон изменения амплитуды звукового давления, %.....	16±0,25
Сдвиг фазы центрального резонатора линией задержки $\Delta\phi$ , мкс.....	10±0,25

В эксперименте измерялись уровень кавитационного шума и значение интегральной мощности МПСЛ вблизи геометрического центра реактора. В качестве датчиков использовались фотоэлектронный датчик фирмы Hamamatsu и миниатюрный гидрофон фирмы Brüel & Kjoer. Максимально возможное усиление в насыщенном водном растворе NaCl, являющемся рабочей жидкостью в реакторе, при синфазной работе всех трех резонаторов задано размером  $L$ . Коэффициент усиления вычислялся как отношение каждого из этих двух физических показателей, измеренных при синфазной работе, к их показателям, измеренным при запаздывании фазы колебаний центрального резонатора относительно фазы периферийных на  $\Delta\phi$ .

При измерении усиления по интегральной мощности МПСЛ, учитывая диапазон и характер спектральной чувствительности оптического канала, а также уровень помех, оно считалось достоверным в случае, когда области доверительных вероятностей сравниваемых величин, вычисленных по серии единичных опытов, не пересекались. Замеры кавитационного шума выполняли с помощью управляемого устройства стробирования в течение четвертей периодов гармонической волны, где он имел максимальное значение. Результаты измерений усреднялись по продолжительности замеров.

Для сравнения результатов экспериментов с моделью из выражения (6) рассчитано теоретическое значение усиления для реактора, изображенного на рис. 3 с характеристиками, приведенными выше. При этом полагалось, что кавитация происходит в объеме, где соотношение амплитуды  $A$  и ее опорного значения  $A_0$  в насыщенном растворе NaCl обеспечивает разброс фаз коллапса на отрезке времени, не превышающем четверти периода гармонической волны, т. е.:

$$V = D^2 \frac{c}{4f} \arccos \frac{A_0}{2A},$$

где  $c$  — скорость распространения упругой деформации в растворе.

Расчетный коэффициент усиления вычислен по формуле

$$C = \frac{\tau_c + 2\tau_p}{\tau_c + 2\tau_e},$$

где  $\tau_c$  и  $\tau_p$  — безразмерное время прихода импульса давления кавитации от центрального и периферийного резонаторов к гидрофону, соответственно;

$\tau_e$  — безразмерное время прихода импульса давления кавитации от условного резонатора, расположенного на расстоянии  $L^*$  от центрального, обеспечивающего опережение его фазы на четверть периода ( $\sim 10$  мкс).

Значение координаты расчетной точки  $y$  положено равным  $r_0$  среднестатистического пузырька в отстоявшемся при атмосферном давлении и комнатной температуре растворе, координата  $x$  для центрального резонатора равной 0, а для периферийных —  $L$ . Размер  $L^*$  вычислен как первый положительный корень трансцендентного уравнения  $\{\tau_p\} - \{\tau_e\} = \frac{1}{4}$ . Результаты определения коэффициента усиления, полученные экспериментально и расчетным путем, следующие:

по интегральной мощности СЛ на оси, перпендикулярной лучу волны центрального резонатора в апертуре коллиматорной линзы $\varnothing 20$ мм.....	1,34
по кавитационному шуму, измеренному гидрофоном, установленным на периферии волны центрального резонатора.....	2,13
расчетное в точке:	
геометрического центра реактора ( $x=0; y=r_0; z=0$ ).....	2,34
на периметре пучности давления ( $x=0; y=0,5D; z=0$ )....	2,25
акустического центра гидрофона ( $x=0; y=20$ мм; $z=0$ )...	2,12

### Заключение

Экспериментально полученное непараметрическое усиление кавитационного шума достаточно хорошо подтверждает адекватность модели. Поскольку средние за фазу коллапса температура и давление парогазовой смеси в пузырьках (если считать ее излучение имеющим тепловую природу) пропорциональны корню четвертой степени интегральной мощности СЛ, то измеренное усиление МПСЛ в пересчете на увеличение давления в 15 раз меньше расчетного. Это можно объяснить многими причинами, в том числе, например, смещением в результате усиления длины волны максимума мощности излучения за пределы чувствительности оптического канала.

Но главной причиной является все же то, что фаза сжатия кавитационного пузырька в силу его инерционных свойств намного короче фазы разрежения и длится в данном случае ~50 нс. Поэтому точное совпадение во времени фазы сжатия пузырька и прихода в точку, где расположен в данный момент этот пузырек, деформации сжатия от других пузырьков — явление с очень малой вероятностью.

Итак, предложенная модель является адекватной детерминированной моделью только в том случае, когда параметры всех пузырьков, жидкости, в которой они находятся, и действующих в ней гармонических волн являются константами процесса и то лишь в линейном приближении. В реальности для соответствия этим условиям как минимум требуются генерация абсолютно одинаковых зародышей пузырьков непосредственно в пучности давления гармонических полуволн, полная термостабилизация процесса и чрезвычайно

точное амплитудно-фазовое управление волнами. В противном случае базирующийся на модели способ является лишь способом увеличения вероятности непараметрического усиления кавитации, которое и само по себе должно иметь место как случайный процесс в кавитационных областях большой протяженности. И результаты описанного эксперимента хорошо иллюстрируют это.

На основании модели и обсуждаемых результатов ее опытной проверки можно сделать следующие прогнозы. Исходя из выражений (5) и (6) для обеспечения максимального усиления в геометрическом центре реактора необходимо, чтобы количество участвующих в процессе пузырьков увеличивалось пропорционально квадрату среднего расстояния до него от синфазных кавитационных областей. Обеспечивающими максимальное усиление формой волновых фронтов являются сплошные концентрические кольца. При этом синхронизация деформаций от коаксиально расположенных кавитационных областей должна осуществляться относительно их геометрического центра. Тогда коэффициент геометрического затухания суммарной деформации и безразмерное время ее прихода в центр при синхронной работе  $n$  таких коаксиальных резонаторов будут равны, соответственно:

$$C_{od} = \frac{r_0}{n} \sum_j (m_h)_j^{-1}, \quad j=1, \dots, n;$$

$$\tau = \frac{1}{n\lambda} \sum_j (m_a)_j, \quad j=1, \dots, n.$$

В случае произвольного выбора размеров, например полуволновых резонаторов, для получения максимального усиления необходим сдвиг фаз на опережение по мере увеличения диаметра резонаторов, который рассчитывается как

$$\Delta\varphi_j = \frac{\Delta\tau_j - [\Delta\tau_j]}{f},$$

$$\text{где } \Delta\tau_j = \frac{1}{3\lambda} \left( \frac{D_j^3 - d_j^3}{D_j^2 - d_j^2} - \frac{D_1^3 - d_1^3}{D_1^2 - d_1^2} \right);$$

$D$  и  $d$  — наружный и внутренний диаметры фронтов волн.

Средняя температура за время пребывания пузырька, находящегося в точке с координатами 0, 0, 0 в объеме, меньшем объема покоя температуры плазмы в адиабатических условиях, будет приблизительно равна  $\bar{T} = T_0 \frac{\bar{p}_c}{p_0}$ , где  $T_0$  — равновесная температура системы.

На рис. 4 показаны основные элементы конструкции кавитационного автоусилителя, содержащего пять коаксиальных резонаторов, которые

образуют стоячие плоские полуволны с концентрическими кольцеобразными фронтами в химически чистой воде. Частота резонаторов 40 кГц, толщина кольца 40 мм, зазор между кольцами 1 мм, диаметр камеры 418 мм с отверстием Ø10 мм в центре, статическое давление в воде 1 бар, сдвиг фаз резонаторов относительно фазы внутреннего, необходимый для получения максимального усиления, и значения потребляемой каждым резонатором механической мощности приведены в таблице.

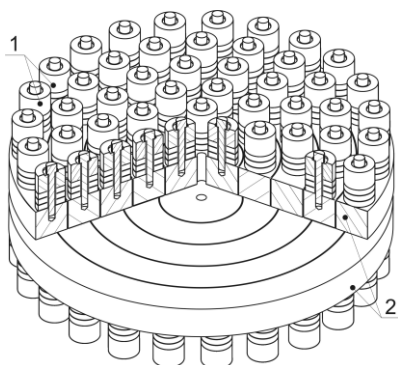


Рис. 4. Основные элементы конструкции кавитационного автоусилителя:

1 — пьезоэлектрический излучатель; 2 — кольцеобразный акустический трансформатор плоской волны

Показатели	Значение показателей				
Номер резонатора $j$	1	2	3	4	5
Сдвиг фазы на опережение $\Delta\varphi_j$ , мкс	0	1,5	4,8	8,3	12,0
Механическая мощность $P_m$ , Вт	600	1700	2800	3800	4900

Согласно модели при среднем радиусе покоя пузырьков 1 мкм и плотности пузырьков  $5 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$  максимум оптической мощности СЛ в центре реактора, при синфазной работе резонаторов должен излучаться на длине волны 552 нм (видимое оптическое излучение), а при работе с расчетным сдвигом фаз — 64 нм (мягкое рентгеновское излучение).

На рис. 5 в виде гистограммы показана расчетная зависимость средних за время коллапса пузырька с координатами 0, 0, 0 температур внутри него от числа работающих резонаторов при синхронизированных с порождающими кавитацию гармоническими волнами пульсациях всех пузырьков.

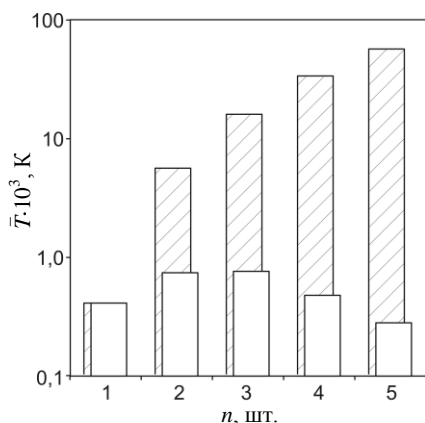


Рис. 5. Зависимость расчетной средней за фазу сжатия температуры парогазовой смеси в пузырьке с координатами  $x = 0, y = 0, z = 0$  от числа работающих резонаторов.

Заштрихованные столбики гистограммы соответствуют работе с рассчитанным сдвигом фаз

Поскольку в реальности процессы обмена энергией и веществом содержимого пузырьков с окружающей его жидкостью все же имеют место, пузырьки не одинаковы по размерам, сконцентрировать все их в пучности давления стоячей волны невозможно, а абсолютно точное управление амплитудно-фазовыми характеристиками резонаторов технически неосуществимо, то следует рассматривать управляемое непараметрическое усиление кавитации как вероятностный процесс.

В его модель следует ввести стохастический компонент и считать ее моделью способ увеличения вероятности повышения давления при сжатии кавитационного пузырька, пульсирующего в произвольной точке пространства не влияющих друг на друга упругих гармонических волн, каждая из которых порождает кавитацию.

Исследования проводились по заказу и на средства ООО "Астор-С", г. Вологда.

**Л и т е р а т у р а**

1. Nigmatulin R. I. et al.// Physics of Fluids. 2005. № 17. P. 106, 107.
2. Маргулис М. А.// УФН. 2000. № 170. С. 263.
3. Matula T. J. et al.// Phys. Rev. Lett. 1995. № 75. P. 2602—2605
4. Flannigan D. and Suslik K.// Letters to Nature. 2005. № 434. P. 52—55.
5. Dezhkunov N. V. et al.// Ultrasonics Sonochemistry. 2000. № 7. P. 19—24.
6. Dezhkunov N. V., Franchescutto A., Mason T. J. and Ciuti P.// Int. conf. Ultr. Tech. Proc.-2000. — Arkhangelsk, sept. 2000. № 27—30. P. 66, 67.
7. Taleyarkhan R. P. et al. Science. 2002. № 295. P. 1868—1873.
8. Taleyarkhan R. P. et al.// Phys. Rev. E69. 2004. 036109.
9. Хаврошкин О. Б., Быстров В. П.// Прикладная физика. 2007. № 5.
10. Физика и техника мощного ультразвука/ Под ред. Л. Д. Розенберга. — М: Наука, 1968.
11. Knapp R., Daily J., Hammitt F. Cavitation. — NY: McGraw Book Company, 1970 (Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация). — М.: Мир, 1974.

12. Шестаков С. Д.: Тр. XVI сес. Росс. акуст. об-ва, 2005. Т. 1. С. 116—121.  
13. Шестаков С. Д. Деп. в ВИНТИ РАН. 2007. № 829—В2007.

14. Пат. 2286205 РФ/ Шестаков С. Д., 2006.

Статья поступила в редакцию 11 февраля 2008 г.

## Research of an opportunity of nonparametric strengthening the multivesicular cavitation

*S. D. Shestakov*

Nonprofit organization "The Russian Acoustical Society.  
Vologda's regional branch", Vologda, Russia

*The mathematical model of a special case of multibubble cavitation and the way of nonparametric strengthening of compression of bubbles in a phase of a collapse, based on the model, are considered. Strengthening is carried out due to peak-phase management of several plainly-elastic harmonious equal frequency waves, which generate the cavitation and do not depend from each other. Experimental installation and natural experiment are described. Results of the experiment confirm adequacy of the model and practicability of the way.*

PACS: 43.35.-d, 65.20.-w

\* \* \*