



Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

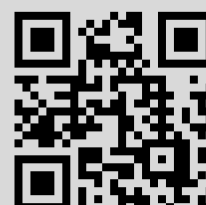
Р. Х. Рахимов, Р. З. Хасанов, В. П. Ермаков, Частотные характеристики генератора резонансных колебаний, *Comp. nanotechnol.*, 2017, выпуск 4, 6–13

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением  
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.239.90.61

9 ноября 2024 г., 15:48:04



# 1. ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ. ЯДЕРНАЯ ТЕХНИКА. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## 1.1. ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЙ

*Рахимов Рустам Хакимович, доктор технических наук, зав. лабораторией №1. Институт Материаловедения. Научно-производственное объединение «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан. E-mail: rustam-shsul@yandex.com*

*Хасанов Рамиль Зияевич, директор, научный руководитель ПКФ «РЕОЛ», Уфа. E-mail: khranitel53@yandex.ru*

*Ермаков Владимир Петрович, старший научный сотрудник, лаборатория №1. Институт Материаловедения. Научно-производственное объединение «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан. E-mail: labimanod@uzsci.net*

**Аннотация:** в статье приводятся предварительные результаты частотных характеристик генератора кавитационных колебаний. Целью настоящей статьи является попытка выявления вышеизложенных механизмов прямого и опосредованного воздействия на исследуемые объекты, в частности, молекулы воды.

**Ключевые слова:** генератор, кавитация, частота, модуляция, резонанс, потоки жидкости, турбулентность.

## THE FREQUENCY CHARACTERISTIC OF THE OSCILLATOR RESONANT OSCILLATIONS

*Rakhimov Rustam Khakimovich, doctor of technical Sciences, head of laboratory №1. Institute of materials science, «Physics-sun». Uzbekistan Academy of sciences. E-mail: rustam-shsul@yandex.com*

*Hasanov Ramil Ziyavovich, director, scientific director PKF «REOL», Ufa, E-mail: khranitel53@yandex.ru*

*Yermakov Vladimir Petrovich, senior research associate, laboratory №1. Institute of materials science, «Physics-sun». Uzbekistan Academy of sciences. E-mail: labimanod@uzsci.net*

**Abstract:** the article presents the preliminary results of the frequency characteristics of the generator of cavitation fluctuations. The purpose of this article is an attempt to identify the above-mentioned mechanisms of direct and indirect impacts on the investigated objects, in particular water molecules.

**Index terms:** generator, cavitation, frequency, modulation, resonance, fluid flows, turbulence.

За последние годы все более широкое применение для улучшения и удешевления различных технологических процессов, а иногда и в качестве эффективных физиологических воздействий находят звуковые и ультразвуковые колебания. Характерно, что во многих случаях, объекты подверженные такому воздействию сами становятся активными составляющими, в корне меняющими наши представления о механизмах взаимодействия как между субстанциями, так и между механическими колебаниями и веществом.

Однако механизм подобного взаимодействия до сих пор остается не выясненным до конца. Если прямое воздействие колебаний на вещество и технологические процессы как-то может быть объяснено, то опосредованное воздействие обработанных субстанций на большинство процессов трудно поддается прямому логическому объяснению.

Целью настоящей статьи является попытка выявления вышеизложенных механизмов прямого и опосредованного воздействия на исследуемые объекты.

В первую очередь рассмотрим подробнее основные типы генераторов звуковых и ультразвуковых частот, а также их отличительные признаки и конструктивные отличия.

В основном, они предназначены для генерации звуковых и ультразвуковых резонансных колебаний в потоках жидкости или газа и могут быть использованы в различных технологических областях: для высокопроизводительных глубоких процессов эмульгирования, а также диспергирования, гомогенизации, процессов массо- и теплообмена.

Обычно они состоят из рабочего элемента генератора V-образной формы, продольные оси входного и выходного сопел пересекаются в замкнутом пространстве кавитационной камеры, расположенной в корпусе генератора, под углом 5-45. Входящий и выходящий потоки двигаются в замкнутом пространстве по синусоидальной или пилообразной траектории.

Известны различные способы генерации звуковых и ультразвуковых колебательных процессов в потоках жидкости и газа с использованием энергии движущихся потоков при различных конструктивных решениях. Например, в способе по [1] колебания генерируются путем переменного тормо-

жения на неподвижном криволинейном препятствии, установленном под острым углом к каждому из двух потоков в месте их встречи. По [2] способ генерации ультразвуковых колебаний предусматривает размещение в вихревых камерах генератора элементов вторичной кавитации, в виде свободно вращающихся шаров со сквозными каналами переменного сечения для создания дополнительных импульсов, увеличивающих мощность.

Также известен генератор, [3], где для локализации кавитационного поля в замкнутое пространство и повышения интенсивности обработки, вытекающую из сопла струю направляют под углом 150...170 относительно направления истечения струи. Существенным недостатком его является необходимость регулирования интенсивности акустических колебаний за счет скорости подачи жидкости каждый раз при изменении ее характеристик (вязкости, текучести, температуры, давления, пересыщения поля кавитационными пузырьками и т.п.) в процессе обработки, то есть отсутствие автономности рабочего процесса, что снижает эффективность обработки, а также невозможность использования его для газообразных сред.

Наибольший интерес представляет генератор [4], содержащий корпус с крышкой, входными и выходными соплами, а также с цилиндрическими кавитационными камерами с расположенными в них элементами вторичной кавитации в виде криволинейных выступов. Недостатком генератора данной конструкции является его ограниченные функциональные возможности, обусловленные преимущественным использованием для жидких сред, а также сложность конструкции.

На основе проведенного анализа, сконструирован генератор, более полно отвечающий поставленным целям: повышению эффективности и глубины обработки жидких и газообразных сред за счет интенсификации резонансного колебательного процесса в замкнутом пространстве. В процессе решения, удалось также добиться упрощения устройства.

В частности, был разработан способ глубокой обработки жидких и газообразных сред, основанный на взаимодействии с препятствием подаваемой под давлением струи жидкости или газа при резком изменении ее направления, возбуждении упругих колебаний и кавитации с локализацией кавитационного поля в замкнутое пространство, в котором в отличие от прототипов струю жидкости или газа направляют в такое замкнутое пространство, что препятствием является развернутый относительно входящего выходящий поток струи, с которым входящий поток взаимодействует под углом  $\alpha$  5-45.

Входящий и выходящий потоки сред, подвергаемых обработке, в зависимости от их свойств (вязкости, текучести, плотности и т.д.) можно пропускать через замкнутое пространство по синусоидальной или пилообразной траектории. Движение обрабатываемой среды по такой траектории приводит к пульсации жидкости или газа, что увеличивает интенсивность резонансных колебаний и, следовательно, к повышению КПД и уменьшению необходимой мощности подаваемой среды.

Решение поставленной задачи можно используя и генератор резонансных колебаний, содержащий корпус с входным и выходным соплами и кавитационной камерой, в котором в отличие от прототипа корпус выполнен V-образной формы таким образом, что продольные оси входного и выходного сопел пересекаются в замкнутом пространстве кавитационной камеры под углом  $\alpha$  5-45. Внутренние стенки кавитационной камеры могут быть выполнены профильными таким образом,

что в продольном сечении камеры образуют синусоидальную или пилообразную линию.

Предложенное решение позволяет получать резонансные колебательные процессы обрабатываемой среды наибольшей интенсивности в широком диапазоне фазово-частотных характеристик, которые мало зависят от изменения внешних параметров среды, таких как температура, вязкость и т.д. По сравнению с известными решениями, где эффект кавитации наблюдается в локальной зоне, где непосредственно пересекаются потоки, в данном генераторе колебательные процессы образуются в широком диапазоне от звуковых до ультразвуковых, изменяющихся в зависимости от поперечного сечения замкнутого пространства, через который проходит поток обрабатываемой среды. Зона максимальной глубины обработки перемещается в зависимости от изменения параметров обрабатываемой среды (вязкость, температура и т.д.). Когда частота собственных колебаний обрабатываемой среды в одном из поперечных сечений кавитационной камеры генератора совпадает с частотой вынужденных колебаний, происходящих при взаимодействии входящего потока с выходящим, наступает резонанс, в условиях которого резко увеличивается интенсивность происходящих в среде процессов – обработка идет на молекулярном и атомном уровне.

Такое решение обеспечивает повышение мощности и получение широкого спектра рабочих частот обработки различных по свойствам и характеристикам жидкостей и газов, так как в разных поперечных сечениях замкнутого пространства кавитационной камеры имеют место различные фазово-частотные характеристики воздействия на обрабатываемые потоки.

Принцип работы генератора поясняется чертежом (рис.1), где изображено продольное сечение корпуса генератора резонансных колебаний для глубокой обработки жидких и газообразных сред, причем показан пример, когда внутренние стенки кавитационной камеры выполнены по синусоидальной линии (а), и – по пилообразной линии (б).

Генератор содержит V-образный корпус 1 с входным 2 и выходным 3 соплами и кавитационной камерой 4. Внутренняя стенка 5 кавитационной камеры может быть выполнена в продольном сечении камеры по синусоидальной (а) или пилообразной (б) линии. Продольные оси входного и выходного сопел пересекаются в замкнутом пространстве кавитационной камеры под углом  $\alpha$  соответствующим 5-45.

Обработку целевых объектов осуществляют следующим образом.

Обрабатываемую среду, например, смесь масла с водой, через насос подают под давлением через входное сопло 2 в камеру 4 генератора. Поток, ударяясь о противоположную стенку камеры, резко меняет свое направление и движется по выходному соплу 3. При этом происходит взаимодействие входного потока с выходным, приводящее к образованию зоны резонансных колебаний, интенсифицирующих процессы кавитации, эмульгирования, диспергирования, массо- и теплообмена на молекулярном и атомном уровне.

В результате такого воздействия смесь масла с водой превращается в устойчивую эмульсию без добавления каких-либо эмульгаторов.

Таким образом, предложенное устройство позволяет повысить эффективность и глубину обработки жидких и газообразных сред за счет интенсификации резонансного колебательного процесса, возбуждаемого в обрабатываемой среде.

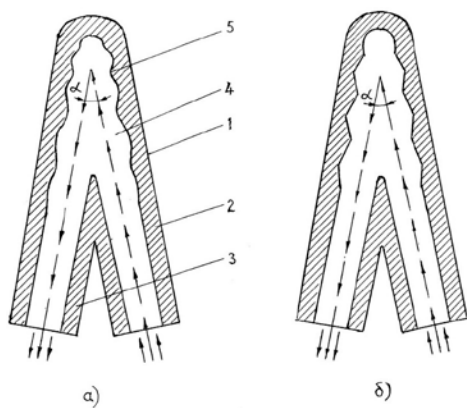


Рис. 1. Схема работы генератора.

Структура турбулентного потока определяется скоростью движения потока, физическими свойствами жидкости, формой и размерами ограничивающих поток стенок канала и др. [5]

Отдельные элементы турбулентного потока – **вихри** (иногда их еще называют жидкими комками или жидкими молями) – совершают хаотические неустановившиеся движения. Под вихрем понимают группу частиц, вращающихся вокруг одной мгновенной оси с одинаковой угловой скоростью, так что по отношению к окружающей жидкости вихрь подобен твердому телу. В процессе турбулентного течения вихри непрерывно возникают и распадаются. Глубина их проникновения до разрушения, т.е. пространственное протяжение элементов турбулентности, зависит от степени развития турбулентности в потоке, или ее масштаба, и называется **масштабом турбулентности**. Масштаб турбулентности во многом определяется внешними условиями течения (например, диаметром трубопровода или канала). Турбулентность, не ограниченную влиянием стенок, называют свободной (например, истечение жидких и газовых струй в неподвижную жидкость).

Вихри пульсируют относительно их среднего положения в текущей жидкости; такое движение называют **пульсационным**. Аналогичным образом пульсирует и мгновенная скорость в данной точке потока. Беспорядочное перемещение вихрей приводит к интенсивному перемешиванию жидкости по сечению потока. **Пульсации** – наиболее характерный признак турбулентности. Ввиду того что масса вихря и путь, который он проходит, несравненно больше массы молекулы и длины ее свободного пробега, перенос импульса, массы и теплоты за счет хаотического движения вихрей значительно превосходит молекулярный перенос, вызываемый тепловым движением молекул.

При турбулентном движении кривая распределения скоростей по сечению имеет отличный от параболы (характерной для ламинарного движения) вид – вершина кривой значительно сглажена.

При этом соотношение  $w/w_{\max}=f(\text{Re})$ . Чем больше  $\text{Re}$ , тем больше соотношение  $w/w_{\max}$ , т.е. тем ближе средняя скорость потока к максимальной (на оси потока). Теоретически описать профиль скоростей в этом случае чрезвычайно трудно ввиду сложного характера турбулентного движения. Поэтому кривая  $w/w_{\max}$  выражает распределение не истинных, а **осредненных** во времени скоростей, т.е. турбулентное течение, строго говоря, по существу не является установившимся – мгновенные скорости в каждой точке потока меняются во времени. Но использование осредненных во времени скоростей позволяет приближенно рассматривать это движение как установившееся. В этом смысле турбулентное движение можно характеризовать как **квазистационарное**.

Выделим в жидкости, находящейся в движении произвольный объем  $V$ , ограниченный поверхностью  $S$ . Объем жидкости расположен в неоднородном поле физического потенциала переноса  $\phi$ . Задача сводится к выводу дифференциальных уравнений, описывающих распределение скоростей, концентраций и температур во времени и пространстве, что необходимо для решения многих задач гидродинамики, тепло- и массообмена.

Процессы тепло- и массопереноса через рассматриваемую поверхность  $S$  осуществляются двумя видами механизма переноса:

- молекулярным, т.е. переносом, возникающим в результате стремления системы к термодинамическому равновесию, отклонения от которого объясняются неоднородностью поля потенциала;

- макроскопическим – конвективным переносом, вызванным наличием поля скоростей жидкости в объеме  $V$ .

В случае переноса количества движения (импульса) к указанным двум видам переноса добавляется также перенос, вызванный наличием поля гидростатического давления, а при переносе теплоты – перенос за счет теплового излучения.

Поток субстанции, вызванный стремлением системы к термодинамическому равновесию (молекулярный перенос), определяется хаотическими перемещениями молекул среды, переносящих массу, энергию и импульс и тем самым усредняющих потенциал в рассматриваемом объеме. Молекулярный перенос является определяющим в неподвижных средах и в ламинарно движущихся потоках и описывается следующими известными линейными градиентными законами.

Для переноса массы – **первым законом Фика**:

$$\vec{q}_{mc} = -D \text{grad } C$$

$D$  – коэффициент молекулярной диффузии,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Для переноса энергии (теплоты) – **законом Фурье**:

$$\vec{q}_{mt} = -\lambda \text{grad } t$$

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности.

Для переноса импульса (с учетом **закона внутреннего трения Ньютона**):

$$\vec{q}_{mw} = -\mu \text{grad } \vec{w}$$

Таким образом, молекулярный перенос (плотность потока) массы  $q_{mc}$ , энергии  $q_{mt}$  и импульса  $q_{mw}$  описывается идентичными по форме уравнениями, которые могут быть обобщены следующим выражением:

$$\vec{q}_m = -k \text{grad } C$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, в зависимости от вида переноса принимающий значение  $D$ ,  $\lambda$  (коэффициент температуропроводности  $a = \lambda/(c_p r)$ ) или  $\mu$ .

При конвективном переносе масса, энергия и импульс транспортируются в объеме макрочастиц, движущихся со скоростью  $w$ . **Плотность конвективного потока**  $\vec{q}_k$  энергии или импульса на каждом участке поверхности можно выразить следующим образом:

$$\vec{q}_k = \vec{w} \phi$$

Таким образом, в случае молекулярного и конвективного переноса массы или энергии плотность потока  $q$  складывается из двух составляющих:

$$\vec{q} = \vec{q}_k + \vec{q}_m$$

При анализе процесса переноса теплоты в правую часть этого уравнения следует добавить еще одну величину ( $q_r$ ), учитывающую вклад в общий перенос теплоты теплового излучения.

Выделим на поверхности  $S$ , ограничивающей произвольный объем  $V$ , элемент поверхности  $dS$ . Представим его в векторной форме, умножив на единичный вектор  $\vec{n}$ , расположенный по нормали к этому элементу и направленный из объема  $V$ :

$$\vec{n}dS = d\vec{S}$$

Найдем результирующий поток массы, энергии или количества движения, входящий в объем  $V$ :

$$M = - \oint_S \vec{q} d\vec{S} + \iiint_V \gamma dV$$

где  $g$  – удельная объемная плотность потока.

Знак минус перед интегралом первого члена правой части этого уравнения необходим потому, что направление вектора элемента поверхности  $dS$  противоположно направлению векторов плотности входящих потоков массы, энергии и количества движения, и результирующий поток будет представлять собой разность между входящим и выходящим потоками.

Также результирующий поток массы или энергии можно найти как сумму изменения удельной объемной энергии или массы (потенциала  $j$ ) во времени по всему объему  $V$ :

$$M = \iiint_V \frac{\delta\varphi}{\delta\tau} dV$$

Приравняв правые части последних двух уравнений получим:

$$\iiint_V \frac{\delta\varphi}{\delta\tau} dV = - \oint_S \vec{q} d\vec{S} + \iiint_V \gamma dV$$

Согласно теореме Остроградского-Гаусса, интеграл от нормальной составляющей вектора по поверхности равен интегралу от дивергенции вектора по объему:

$$\oint_S \vec{q} d\vec{S} = \iiint_V \text{div}\vec{q} dV$$

Divergentia (лат) – расхождение. Плотность потока в точке является пределом отношения потока вектора через поверхность  $S$ , ограничивающую объем  $V$ , к этому объему при его стремлении к нулю:

$$\text{div}\vec{q} = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\oint_S \vec{q} d\vec{S}}{V}$$

$$\vec{U}(x, y, z) \Rightarrow \text{div}\vec{U} = \frac{\delta U_x}{\delta x} + \frac{\delta U_y}{\delta y} + \frac{\delta U_z}{\delta z}$$

После замены получаем:

$$\iiint_V \frac{\delta\varphi}{\delta\tau} dV = - \iiint_V \text{div}\vec{q} dV + \iiint_V \gamma dV$$

С учетом вышеизложенного уравнение принимает вид:

$$\iiint_V \left( \frac{\delta\varphi}{\delta\tau} + \text{div}\vec{q} - \gamma \right) dV = 0$$

Поскольку по правилам интегрирования, интеграл будет равен нулю в том случае, если подынтегральное выражение также равно нулю, можно записать:

$$\frac{\delta\varphi}{\delta\tau} + \text{div}\vec{q} - \gamma = 0$$

Полученное уравнение и есть **основное уравнение переноса субстанций** – массы, энергии и количества движения. Перепишав это уравнение относительно производной потенциала по времени, получим новое выражение основного уравнения переноса субстанций:

$$\frac{\delta\varphi}{\delta\tau} = -\text{div}\vec{q} + \gamma$$

Целесообразно провести сравнение спектра генерируемого функциональной керамикой и кавитационными генератором на предмет мультисоставности. Как следует из полученных данных (Рис.2), Фронт нарастания импульса генерируемого функциональной керамикой, практически одинаков для конкретного типа керамики (приводится фоновый спектр керамики KL).



Рис. 2. Акустический спектр сразу после включения. Длительность 0,009 сек.

Еще более четко это просматривается на рис.3 (наклоны начала полуволны имеют одинаковый угол).

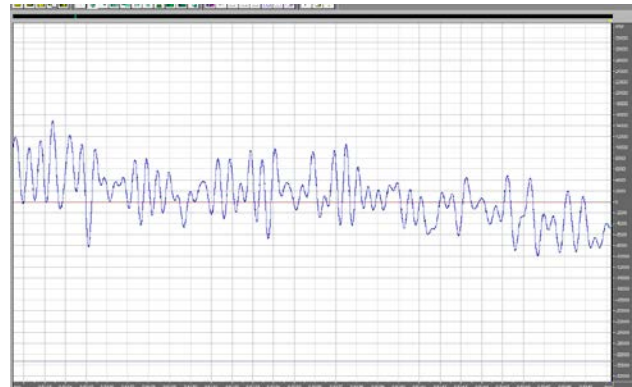


Рис. 3. Акустический спектр сразу после включения. Длительность 0,002 сек.

После разогрева излучателя в течение 3 минут, сигнал становится более четким. Вероятность перехода фононов в фотоны в этом случае возрастает.

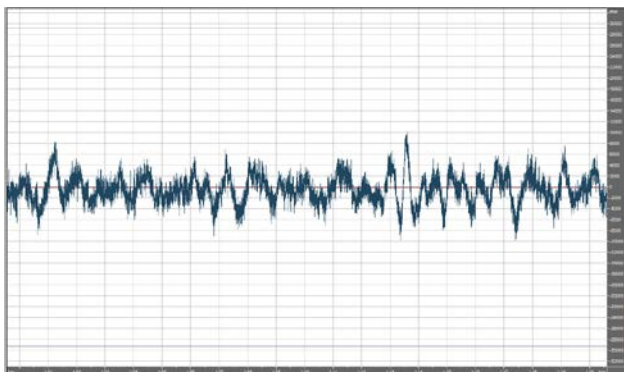


Рис. 4. Акустический спектр через 3 минуты после включения.  
Длительность 1,25 сек.

Из данных, приведенных на рисунке 4, следует, что модуляция приобрела более сложный характер. Практически не наблюдается простого повторения частоты модуляции. Возможно, это связано с многоступенчатым механизмом преобразования.

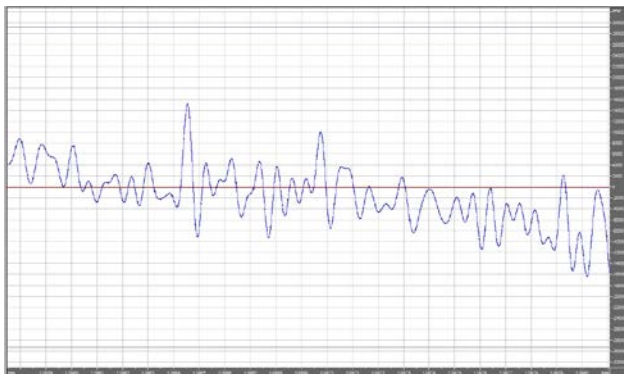


Рис. 5. Акустический спектр 3 минуты после включения.  
Длительность 0,002 сек.

Сравнение акустического спектра несущей частоты сразу после момента включения и прогрева излучателя, подтверждает, что фронты нарастания сигнала в обоих случаях совпадают (рис.6). Наклоны одинаковые, но картина в сумме, несколько отличается для этих моментов.

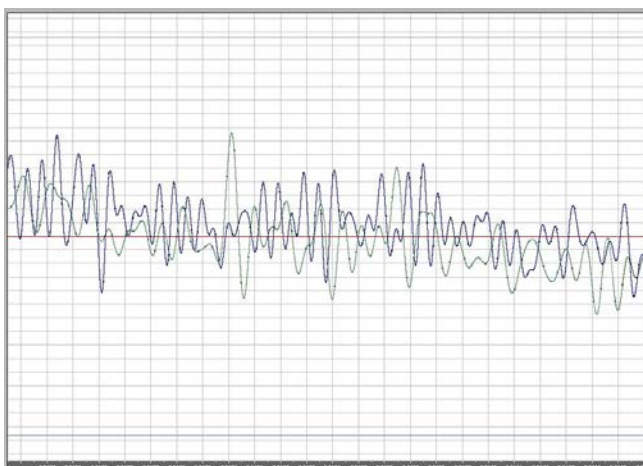


Рис.6. Сравнение акустического спектра. Синяя сразу после включения, зелёная через 3 минуты после включения.

На рисунках 7-12 представлены результаты по измерению акустических колебаний, генерируемых представленным устройством.

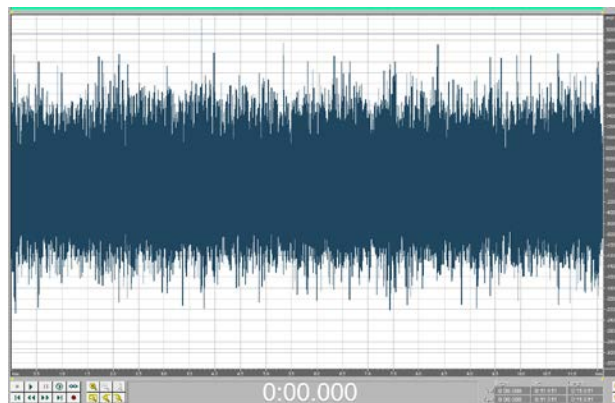


Рис. 7. Первичная запись звуковой составляющей генератора.

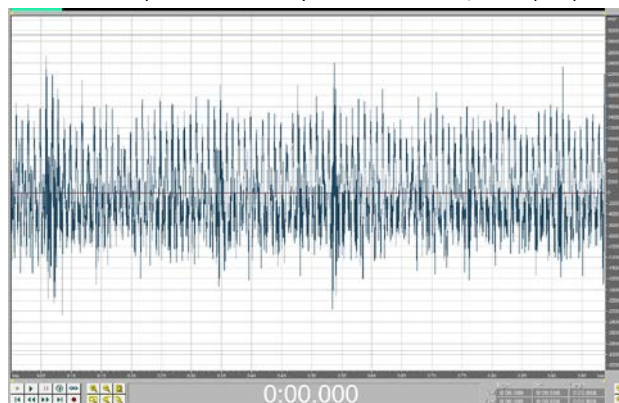


Рис. 8. Общая длительность 1 секунда.  
Прослеживается четкая модуляция.

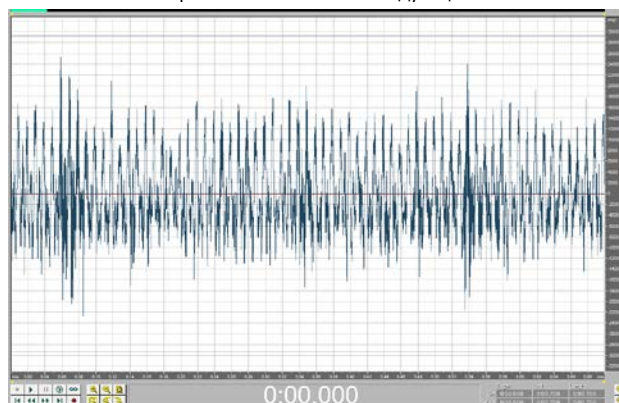


Рис. 9. Общая длительность 0,7 секунды.  
Четко прослеживается мультисоставная модуляция.

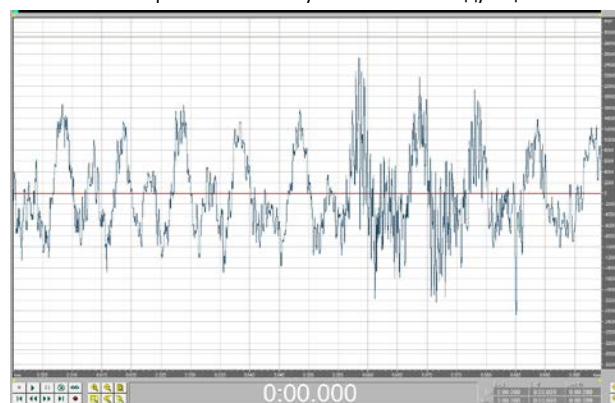


Рис. 10. Общая длительность 0,1 секунды. Видны дополнительные пики (гармоники) в максимуме модуляции.

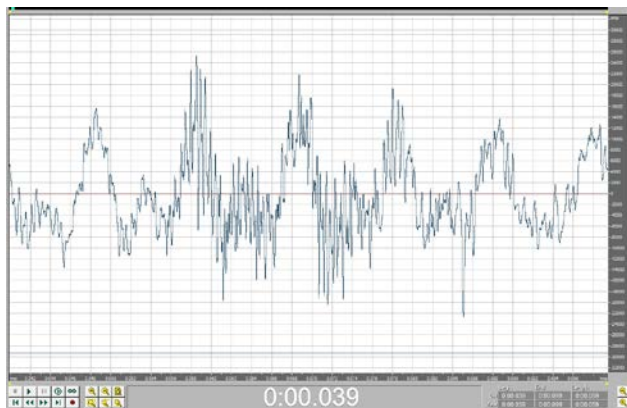


Рис. 11. Общая длительность 0,059 секунды. Область максимума нелинейных искажений. Вначале высокая скорость нарастания, затем, переход на более гармоничные колебания.



Рис. 12. Общая длительность 0,02 секунды. Переход от относительно гармоничных колебаний, к резкому возрастанию уровня гармоник.

Общая длительность  
0,1 секунды

Общая длительность  
0,02 секунды

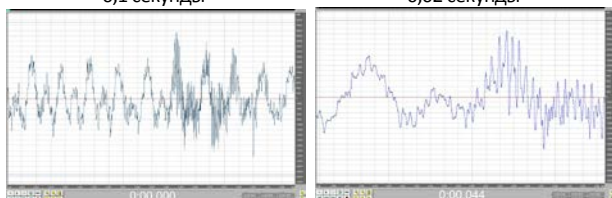


Рис. 13. Начальный момент после включения генератора

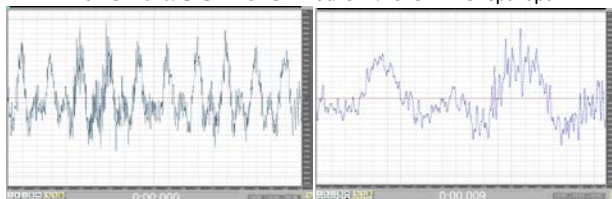


Рис. 14. Сигнал после 10 минутной работы генератора

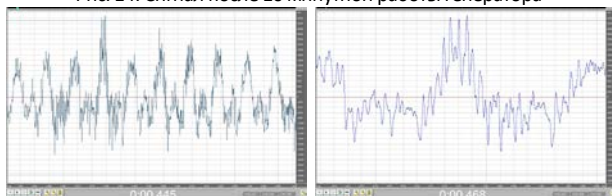


Рис. 15. Сигнал после 40 минутной работы генератора

Полученные результаты по спектральному составу колебаний, генерируемых кавитационной установкой, позволяют сделать следующие выводы.

1. Четко прослеживается мультисоставная модуляция.
2. В определенной мере изменяется соотношение гармонических искажений.

3. После 40 минутной работы генератора, вода нагрелась с 20 до 45 градусов Цельсия

Зарегистрировано, что генерируемые кавитационной установкой оказывают сильное воздействие на различные объекты и технологические процессы. Кроме того, вода после обработки на данной установке активирует многие системы и процессы.

По нашему мнению, механизм наблюдаемых явлений, заключается в следующем.

Как известно, молекулы воды являются диполями, связаны в цепочки, чем и определяются некоторые ее свойства. Генератор разбивает эти агрегаты на отдельные молекулы. Благодаря этому, подвижность молекул воды и их проникающая способность заметно возрастает. Сопротивление току воды и трение воды со стенками рабочей зоны генератора снижается. В результате, снижается доля турбулентной составляющей, что и отражается на характере генерируемых колебаний. Это коренным образом влияет на реологические свойства жидкостей на водной основе. Если говорить о воздействии на живые организмы, восстанавливается кровообращение, как за счет разбивки нежелательных отложений сосудистой системы, так и за счет повышения проникающей способности менее агрегированных молекул воды.

Применяя специальные резонаторы можно изготовить систему, позволяющую выделять требуемый диапазон колебаний.

Результаты, полученные по применению воды, обработанной генератором, связаны с тем, что одиночные молекулы лучше растворяют и расщепляют основные компоненты, так как заряд диполя молекул воды теперь действует значительно сильнее. Как результат сказанного, растения развиваются несравненно лучше, животные и люди, чувствуют себя лучше, так как не только улучшается питание органов и тканей, но существенно возрастает и вывод продуктов распада и токсинов, находящихся в организме.

Энергии колебаний, в принципе, достаточно для конформационных изменений, активации ферментов, диссоциации липопротеид-холестеринового комплекса, разрушения многих агрегированных состояний молекул и др. В тоже время, несгруппированные в цепочки молекулы воды имеют значительную большую активность для многих процессов.

Можно предположить, что такая вода будет выступать в качестве активного лиганда в координационных соединениях [6-7]. Это позволит эффективно выводить ионы тяжелых металлов. Чем опасны тяжелые металлы? В первую очередь, они могут выполнять роль кофермента, замещающая ионы железа, кальция, магния. Если они захватывают активный центр фермента, то ферменты будут производить продукты и активировать биохимические процессы чуждые нормальному обмену в организме. Живой организм имеет защитные буферные системы, – лимфоузлы, самый большой из которых селезенка. Они могут временно захватить продукты вредные для функционирования организма в целом, образовавшихся из-за нарушения нормальных ферментативных реакций. Но возможности их ограничены. В этом случае, активированная вода способствует нормализации работы ферментов, за счет вывода ионов тяжелых металлов, а также образовавшихся токсинов.

Кроме того, такая вода из-за более эффективного доступа к различным соединениям в живом организме, способна существенно влиять на реологические свойства, в частности, крови, лимфы и т.д. Это, в свою очередь, может привести к снижению тромбообразования, диссоциации холестерин-липопротеидного комплекса, различных отложений и т.д.

В настоящее время набран определенный эмпирический материал по улучшению физиологического и физического состояния как людей, так и животных. Также получены крайне интересные результаты при воздействии данного излучения или жидкостей, обработанных генератором на рост и развитие различных растений.

Следует учитывать, что результаты являются предварительными и требуются полноценные исследования, вплоть до клинических испытаний.

Имеется достаточно много работ по исследованию структуры воды и ее воздействию на различные объекты.

В частности обнаружилось, что обычная вода, состоящая из одной – четырех молекул воды и структурированная вода, с образовавшимися кластерами, состоящими из девятидцати молекул воды, обладают совершенно одинаковыми физическими свойствами [9].

известно, что в нормальных условиях (при температуре до +10 – +30 градусов Цельсия), молекулы воды, благодаря своим электростатическим водородным связям объединяются в агрегаты типа  $(H_2O)_n$ , (Рисунок 16). При этом среднее значение  $n$ , при температуре воды до +20 градусов Цельсия, может варьироваться от одного до четырех. Такое значение коэффициента  $n$  означает, что каждая молекула воды может быть связана от одной до четырех соседних молекул.

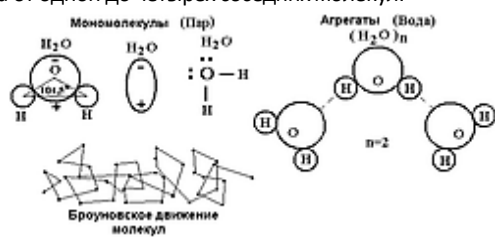


Рис. 16. Структура молекулы воды.

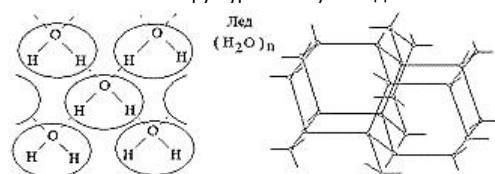


Рис. 17. Образование кристаллов льда воды.

Известно, что диэлектрические свойства любого вещества напрямую зависят от размеров элементарных частиц этого вещества (например, от размера молекул этого вещества) и от степени их ориентированности в электрическом поле. Вода, состоящая из одной – четырех молекул, имеет диэлектрическую проницаемость равную восьмидесяти одной единице, а тангенс диэлектрических потерь такой воды обычно находится в пределе от одной десятой до пяти десятых единиц. Согласно формуле Ланжевена – Дебая, которая связывает диэлектрическую проницаемость полярных диэлектриков с дипольным моментом составляющих его молекул, диэлектрические свойства воды, связанные с временем релаксации молекулы воды, пропорциональны третьей степени радиуса её частиц.

Формула Дебая

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi}{3} N_A \left( \alpha_{el} + \frac{p^2}{3kT} \right)$$

где  $M$  – молекулярная масса,  $\rho$  – плотность вещества,  $T$  – абсолютная температура,  $\alpha_0$  – электронная поляризуемость молекул,  $E$  – электрическое поле,  $p^2/3kT$  – ориентационная поляризуемость молекул вещества.

Следующим этапом нашей работы должно стать измерение диэлектрической проницаемости в процессе обработки генератором.

Одновременно с процессом агрегатного структурирования воды и разрыва водородных связей молекул воды (разрыв водородных связей происходит при энергии флуктуаций Броуновского движения равной 25 кДж/моль), в ней происходит разрушение образовавшихся ранее агрегатов. Именно поэтому в обычной воде агрегатировано не более половины от общего числа её молекул. При значительном снижении температуры воды, энергия флуктуаций Броуновского движения снижается, уменьшаются и разрывы водородных связей между её молекулами. Следствием снижения температуры энергии Броуновского движения и разрывов водородных связей является возрастание агрегации и образование сплошных кристаллов льда (Рис.17).

Как известно даже химически чистая вода достаточно хорошо проводит электрический ток – куда лучше, чем многие металлы.

Причину этого аномального поведения пытались объяснить многие ученые. Сейчас наиболее правдоподобной считается теория, предложенная еще в 1806 году физиком Теодором фон Гротгусом (он был остзейским немцем по происхождению). Согласно ей, все происходит от того, что в воде имеется так называемая водородная связь. В результате, протоны, постоянно перемещаются от одной молекулы к другой, как свободные электроны в кристаллической решетке металлов. Такая передача протона по цепочке связанных водородными связями молекул воды проходит в несколько стадий и представляет собой некий «эстафетный» механизм, а скорость подобной «эстафеты» зависит поляризации молекул воды.

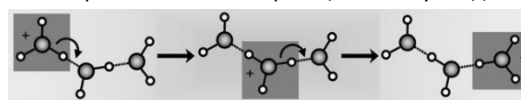


Рис. 18. Механизм Гротгуса:

передача иона водорода по цепочке молекул воды

Эта гипотеза, которую позже по фамилии предложившего ее ученого назвали «механизмом Гротгуса», рисовала следующую картину – некий протон стыкуется с молекулой воды и тем самым вынуждает один из ее собственных ионов водорода отправиться в подобное путешествие. Тот, скользя по водородной связи, натывается на следующую молекулу и вытесняет уже протон оттуда. Таким образом и происходит та самая «эстафета», о которой было упомянуто выше.

Как теперь заявляется группой европейских теоретиков во главе с Али Хассанали (Ali A. Hassanali) из Швейцарского технологического института в Цюрихе, такой взгляд на проблему – упрощение. Проведя компьютерное моделирование этих процессов на основе современных данных о воде, учёные пришли к выводу, что общепринятая картина распространения протонов в воде, возможно, нуждается в пересмотре, поскольку сама передача протона от молекулы к молекуле происходит значительно быстрее, чем считалось. А затем вместо немедленного отделения от молекулы одного протона наступает период паузы.

В этот момент у молекулы воды есть целых три протона вместо двух положенных. Как считают учёные, водородные связи между молекулами скорее похожи на конгломерат замкнутых колец. В итоге образуются протонные цепи, позволяющие затяжные протонные «прыжки» сразу через множество водородных связей. При этом сам процесс перемещения наступает только при достижении молекулами



воды благоприятного энергетического уровня, после чего протон «прыгает» к другой молекуле.

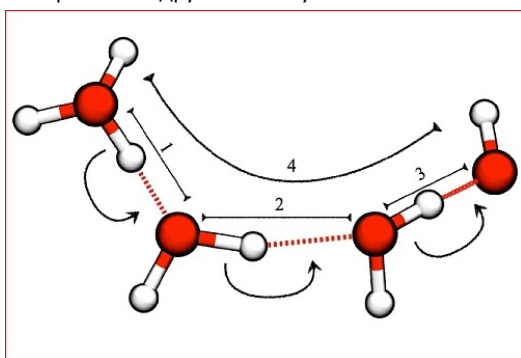


Рис. 19. Контактная пара ионов, через которую передаётся протон.

По мнению исследователей, понимание такого механизма не только улучшит осознание нами переноса протонов в растворителях типа той же воды, но и продвинет понимание таких важных биологических подсистем, как ферменты и макромолекулы [8].

Совсем недавно группа заинтересованных ученых провела тщательное экспериментальное исследование воды и её молекулярной структуры при помощи квантового – силового микроскопа. Такой микроскоп ещё называют «туннельным». Суть этого уникального эксперимента заключалась в том, чтобы зарегистрировать энергию столкновения связанных агрегатов воды со специальным датчиком – щупом, который при помощи специального устройства перемещался под водой (Рис.20). По величине выделенной энергии, при помощи компьютера, определялись размеры и структура частиц, с которыми столкнулся датчик – щуп.

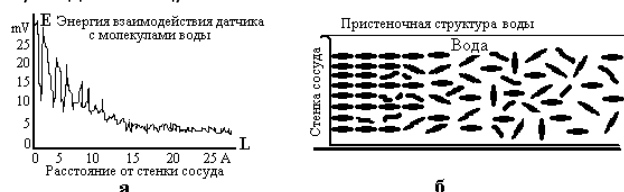


Рис. 20. Структура воды под атомным силовым микроскопом.

Практические исследования воды при помощи туннельного микроскопа подтвердили теорию о том, что при нормальных температурных условиях в составе воды отсутствуют укрупнённые молекулярные комплексы. Но, те же исследования выявили ряд интересных фактов, в частности тот факт, что при нормальных температурных режимах у стенок сосуда, в котором содержится вода, образуются линейные молекулярные цепи молекул воды, которые располагаются перпендикулярно стенкам сосуда и содержат в себе до тридцати молекул (Рис.20,б). Наличие таких длинных молекулярных цепей объясняется тем, что на стенках сосуда в обычных условиях образуются статические электронные заряды, которые и принуждают молекулы воды выстраиваться в такие длинные молекулярные цепочки. При этом, чем больше статический заряд на стенках сосуда, тем больше образуется цепочка из молекул воды.

Отсутствие таких длинных молекулярных цепочек в самой

толще воды объясняется тем, что в ней присутствует разрушающий такие цепочки фактор Броуновских флуктуаций. Ближе к стенкам сосуда, Броуновские флуктуации компенсируются наличием на стенках статического напряжения. Поэтому и происходит выстраивание молекул воды в такие длинные цепи. Больше никаких интересных фактов исследование воды при помощи туннельного микроскопа не принесло. Так же не было обнаружено никаких более-менее крупных агрегатных образований. В качестве доказательства, что в воде всё-таки могут присутствовать такие образования, сторонники структурированной воды приводят снимок, сделанный ими однажды в ходе исследования структурированной воды при помощи растрового микроскопа (Рис. 21).

26 jul96 rein.and.platz.diel.sp.100\*tr

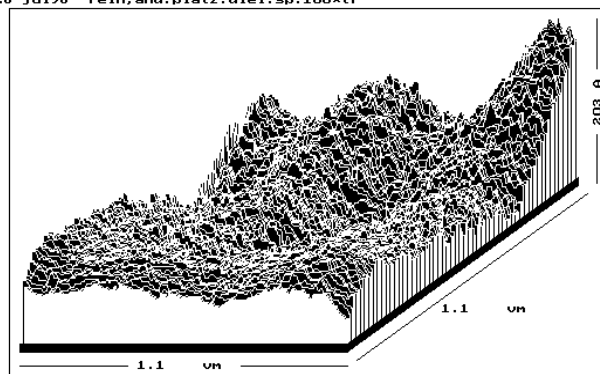


Рис. 21. Вид пленки воды, сделанный под растровым электронным микроскопом.

Нами приведены предварительные результаты по частотному спектру предлагаемого кавитационного генератора. В последующих статьях будут приведены данные полученные в результате эксплуатации генератора. Приводимые нами механизмы далеко не бесспорны и требуются более глубоких исследований для их детального выяснения.

#### Список литературы:

1. а.с. №313574, МПК В 06 В 1/20, опубл. 17.11.1971 г.
2. а.с. СССР №1227261, МПК В 06 В 1/20, 1984 г
3. а.с. СССР №497058, МПК В 06 В 1/18, опубл. 30.12.75 г.
4. патент РФ №2053029, МПК В 06 В 1/20, опубл. 27.01.96 г.
5. <http://poznayka.org/s86480t1.html>
6. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Применение функциональной керамики в комплексообразовании. Химическая технология №1, 2015.
7. Рахимов Р. Х., Рашидов Х. К., Ермаков В. П., Рахимов М.Р., Рашидов Ж. Х. Обеспечение безопасности хранения серной кислоты. Computational nanotechnology №3, 2016, 183-196.
8. Conrad T. Wolke1, Joseph A. Fournier1,2, Laura C. Dzigan3, Matias R. Fagiani4,5, Tuguldur T. Odbadrakh6, Harald Knorke4, Kenneth D. Jordan6,\*, Anne B. McCoy3,7,\*, Knut R. Asmis4,\*, Mark A. Johnson1, Spectroscopic snapshots of the proton-transfer mechanism in water. Science 02 Dec 2016;Vol. 354, Issue 6316, pp. 1131-1135 DOI: 10.1126/science.aaf8425. Цитируется по <http://yorick.kz/uchyonye-pochti-ponyali-kak-voda-privodit-elektrichestvo/>
9. [www.gigya.pf/publ/celebnye\\_svojstva\\_vody/strukturirovannaja\\_voda\\_2/3-1-0-46?http://www.o8ode.ru/article/learn/str\\_science.htm](http://www.gigya.pf/publ/celebnye_svojstva_vody/strukturirovannaja_voda_2/3-1-0-46?http://www.o8ode.ru/article/learn/str_science.htm)