

**ПРОГРАММА**

**АННОТАЦИИ  
ДОКЛАДОВ**

**II Всероссийской акустической  
конференции,  
совмещенной с XXX сессией  
Российского акустического общества**

**6 - 9 июня 2017, Нижний Новгород  
Институт прикладной физики РАН**

**<http://acoust-conference.ipfran.ru>**

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

### ИЗМЕРЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ФОНТАНА

Конопацкая И.И., Миронов М.А., Пятаков П.А., Фатеев В.О.

АО «Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева», Москва  
vasilfateev@mail.ru

Проведено экспериментальное исследование акустического фонтана, вызванного акустическим полем фокусирующего излучателя. Показано, что производительность акустического фонтана пропорциональна акустической мощности.

**Ключевые слова:** акустический фонтан, фокусированный ультразвук

### РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАВИТАЦИОННОЙ ЗОНЫ

Агрест Э.М.<sup>1)</sup>, Кузнецов Г.Н.<sup>2)</sup>, Мельников Н.П.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Johnson & Wales University Charlotte, USA; <sup>2)</sup> Научный центр волновых исследований ИОФ РАН, Москва;

<sup>3)</sup> Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н.Новгород;  
Тел.: (495 9410193); Факс: (499 2561790); E-mail: skbmortex@mail.ru

На основе данных высокоскоростной киносъемки и компьютерного моделирования исследованы радиальное и поступательное движение одиночных кавитационных полостей, взаимодействующих между собой и образующих нестационарную кавитационную зону. Показано, что характеристики зоны кавитации существенно зависят от стадии ее развития, пространственных характеристик звукового поля, вязкости жидкости и статического давления. Сделан вывод о необходимости совместного рассмотрения закономерностей радиального и поступательного движения полостей и важности учета их взаимодействия. Приведены примеры и анализируются физические причины интенсивных пространственных перемещений нестабильных полостей. Установлено, что спектральные характеристики кавитационного шума непосредственно связаны с динамикой кавитационных полостей и стадией развития кавитации, а также зависят от газосодержания воды и статического давления.

**Ключевые слова:** кавитационные полости и зоны, стадия развития, влияние характеристик воды

### СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИРЕЙТИНГА НЕЛИНЕЙНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Карзова М.М., Юлдашев П.В., Сапожников О.А., Хохлова В.А.

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
Тел.: 495 9392952; E-mail: masha@acs366.phys.msu.ru

В медицинских диагностических приложениях ультразвука важно уметь предсказывать параметры акустического поля в биологической ткани, а также оценивать значения теплового и механического индексов, ответственных за безопасное воздействие на ткань. Для оценки параметров поля в ткани используется директинг – метод «переноса» результатов измерений параметров поля в воде на случай распространения диагностического импульса в биологической ткани, обладающей гораздо более сильным поглощением. В современных приложениях диагностического ультразвука используются импульсы достаточно большой амплитуды, при распространении которых сильно проявляются нелинейные эффекты. Директинг нелинейных полей диагностического ультразвука является сложной задачей, поскольку низкий коэффициент усиления в фокусе приводит к тому, что взаимосвязанные эффекты нелинейности и поглощения важны на всем пути распространения волны от излучателя до фокуса и должны быть учтены в директинге. В этом случае получить точные аналитические решения для переноса параметров поля не удается. В данной работе проведено сравнение двух приближенных методов директинга – стандартного, в котором профиль давления волны в фокусе пучка в воде домножается на экспоненциальный множитель, описывающий поглощение в ткани, и нелинейного, где поглощение в ткани учитывается за счет понижения амплитуды волны на источнике. Исследование проводилось для ультразвуковых полей диагностической решетки Philips C5-2 в широком диапазоне начальных амплитуд давления на излучателе; рассматривались случаи запитывания 16, 32, 40, 64 и 128 элементов решетки. Профили давления ультразвуковой волны в воде были измерены в эксперименте с помощью оптоволоконного гидрофона, а также получены в численном моделировании на основе трехмерного уравнения Вестервелта. Затем результаты, полученные с помощью двух методов директинга, сравнивались с результатами точного моделирования нелинейного поля в биологической ткани с поглощением 0.5 Дб/см/МГц, зависящим от частоты по степенному закону с показателем 1.2. Были получены оценки точности двух методов для механического и теплового индексов. Так, было показано, что уровни пикового отрицательного давления, ответственного за значения механического индекса, более точно (до 10%) предсказываются методом нелинейного директинга.

## II Всероссийская акустическая конференция, совмещенная с XXX сессией Российского акустического общества, Нижний Новгород, 6-9 июня 2017 года

Работа поддержана грантом РФФИ 14-12-00974 и стипендией Президента РФ.

### ВОЗБУЖДЕНИЕ СТОЯЧИХ ВОЛН В ВЯЗКОУПРУГОМ РЕЗОНАТОРЕ ПРИ НАЛИЧИИ СТАТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СДВИГА

Асфандияров Ш.А., Крит Т.Б., Андреев В.Г.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва  
Тел.: 8 926 885 84 62; E-mail: timofey@acs366.phys.msu.ru*

Экспериментально исследованы стоячие сдвиговые волны в резонаторе из гелеобразного полимерного материала пластисола. При деформациях свыше 30% толщины резонатора зависимость сдвигового напряжения от деформации материала резонатора описывается уравнением  $\sigma = \mu\varepsilon + \mu\beta\varepsilon^3$  [1], где  $\mu$  – линейный модуль сдвига,  $\beta$  – нелинейный параметр. К одной из границ резонатора приложено статическое сдвиговое напряжение. Это напряжение приводит к изменению эффективного модуля сдвига исследуемого материала, что выражается в изменении частоты первого резонанса. Сдвиговые волны генерируются с помощью внешней периодической вынуждающей силы, приложенной к одной из границ. К противоположной границе приложено статическое напряжение, которое позволяет изменять относительную деформацию.

Измерены зависимости отношения амплитуд ускорений границ резонатора от частоты для стоячих волн при амплитудах ускорения границы, к которой была приложена внешняя вынуждающая сила, от 1 до 3 м/с<sup>2</sup>. Рабочая точка на зависимости сдвигового напряжения от деформации находилась в диапазоне от 0 до 4.5 кПа, что соответствовало изменению эффективного модуля сдвига от 10 кПа до 14 кПа. Измеренная зависимость первой резонансной частоты от статической деформации совпала с рассчитанной для исследуемого резонатора. Измерены линейный модуль сдвига пластисола  $\mu = 9,7$  кПа и нелинейный параметр  $\beta = 4,8$  кПа. Полученные значения соответствуют результатам статических измерений, проведенных для данного материала. Нелинейный параметр, измеренный предложенным методом, превышает в несколько раз значения для данного материала, полученные в [2].

Измерения показали, что резонансная частота меняется в зависимости от величины статической деформации. Деформации, создаваемые при воздействии вибратора на резонатор, не превышали 20%, что соответствует линейному режиму. Поэтому форма измеренных резонансных кривых характерна для линейных колебаний. Статическая деформация резонатора может достигать 65% толщины резонатора, что соответствует нелинейной области деформаций. Поэтому резонансная частота при разных статических деформациях принимает различные значения. Рост эффективного модуля сдвига вследствие нелинейности является характерным для пластисола [2].

Исследование поддержано грантами Президента Российской Федерации НШ-7062.2016.2, РФФИ № 16-02-00719 а, а также РФФИ и Правительства Москвы № 15-32-70016 «мол\_а\_мос».

#### Литература

1. Крит Т.Б., Андреев В.Г. Измерение нелинейного сдвигового модуля резиноподобной среды методом деформации слоя фиксированной толщины // Труды школы-семинара «Волны-2008»
2. Андреев В.Г., Крит Т.Б., Сапожников О.А. Сдвиговые волны в резонаторе с кубической нелинейностью // Акуст. журн. 2011. Т. 57. № 6. С.763-770.

**Ключевые слова:** резонатор, модуль сдвига, гелеобразная среда, кубическая нелинейность, стоячие волны

### МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СФОКУСИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПУЧКОВ В ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА С УЧЕТОМ ПЛАВНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ МЯГКИХ ТКАНЕЙ

Юлдашев П.В.<sup>1)</sup>, Бобина А.С.<sup>2)</sup>, Сапожников О.А.<sup>2)</sup>, Хохлова В.А.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Каф. общей физики и физики конденсированного состояния физфака МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

<sup>2)</sup> Кафедра акустики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва,  
Тел./Факс: (495 939952); E-mail: petr@acs366.phys.msu.ru

В настоящее время методы численного моделирования становятся необходимым инструментом при решении практических задач неинвазивной ультразвуковой хирургии. Для планирования протокола облучения, обеспечения эффективности и безопасности воздействия высокоинтенсивного сфокусированного ультразвукового пучка на ткань необходимы точные количественные данные о параметрах поля в месте воздействия. Прямыми экспериментальными методами получить такие данные практически невозможно, поэтому важную роль играет численный эксперимент, имитирующий клинические условия и максимальным образом включающий в себя данные измерений. Одной из основных моделей при описании ультразвуковых пучков большой интенсивности является уравнение Вестервельта, решения которого достаточно широко исследованы для случаев фокусировки в однородной среде. При распространении ультразвука в теле человека необходимо также учитывать пространственные