

Chernov Nikolay Nikolaevich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomous Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: nik-chernov@yandex.ru.

44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371795.

The Department of Hydroacoustic and Medical Engineering; Dr. of Eng. Sc.; Professor.

Timoshenko Maria Alexeevna

E-mail: timoshenkomaria@mail.ru.

The Department of Hydroacoustic and Medical Engineering; Post-graduate Student.

Golosov Peter Sergeevich

E-mail: Golemstone@mail.ru.

2, Shevchenko Street, Building E, Taganrog, 374922, Russia.

Phone: +79518256497.

The Department of Hydroacoustic and Medical Engineering; Undergraduate Student.

УДК534:535

Г.Ю. Джуплина, В.А. Закарян, Г.В. Калашников, А.В. Саенко, И.Б. Старченко

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТОАКУСТИЧЕСКОГО
ЭФФЕКТА В МОДЕЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЯХ НАНОТРУБОК
И НАНОВОЛОКОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАКРАСНОГО ЛАЗЕРА***

Разработана экспериментальная установка по исследованию оптоакустического эффекта в жидких средах в присутствии нанотрубок и нановолокон. Установка включает две части: источник лазерного излучения и приемный акустический тракт. Подготовлены модельные жидкие среды в виде суспензий наночастиц в 2 %, 5 %, 10 % и 15 % желатине. Проанализированы источники шума, которые следует учитывать при обработке сигналов. Проведен анализ базы записей оптоакустических сигналов, выявлено возрастание амплитуды основной гармоники сигнала в присутствии углеродных наночастиц в 1,5–2 раза.

Оптоакустический эффект; нанотрубки; нановолокна; лазер.

**G.Yu. Dzhuplina, V.A. Zakaryan, G.V. Kalashnikov, A.V. Saenko,
I.B. Starchenko**

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE OPTOACOUSTIC EFFECT IN THE
MODEL NANOTUBES AND NANOFIBERS SUSPENSIONS WITH INFRARED
LASER**

An experimental assembly for studying of photoacoustic effect in liquids in the presence of nanotubes and nanofibers was developed. Assembly consists of two parts: the laser light source and receiving acoustic path. Model fluids were prepared as suspensions of nanoparticles in 2 %, 5 %, 10 % and 15 % gelatin. The sources of noise that should be considered in signal processing were analyzed. An analysis of database records of optoacoustic signals showed an increase of the amplitude of the main harmonic signal in the presence of carbon nanoparticles in the 1,5–2 times.

Optoacoustice ffect; nanotubes; nanofibers; laser.

Теоретические исследования формирования оптоакустических полей при облучении лазером жидких сред и рассеяния оптоакустических импульсов на бактериальных частицах были проведены в [1]. В [2, 3] было показано, что увеличение

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (ГК № 14.740.11.0452).

уровня оптоакустического (ОА) сигнала в среде с углеродными наночастицами может являться признаком присутствия бактериальных клеток. Для проверки этого утверждения были выполнены экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования формирования оптоакустических полей при облучении пробы, содержащей наноразмерные частицы, проводились в Центре коллективного пользования «Лазерные технологии» Южного федерального университета. ОА-импульсы регистрировались в жидких средах с различной концентрацией нанообъектов, а также в чистом растворе.

Интегральная установка была построена, как описано в работе [4], с использованием инфракрасного лазера, модель LIMO 100-532/1064-U на основе Nd:YAG лазера с фиксированной длиной волны 1064 нм, длительностью импульса 45 нс и энергией в импульсе, которая могла задаваться программно в диапазоне от 0,1 до 100 Вт. Значение частоты следования импульсов (ЧСИ) $f_{\text{гер}}$ лазера – 100 кГц. Облучение проб лазером выполнялось с помощью настраиваемой цилиндрической линзы, формировавшей линейный луч лазера диаметром от 3,5 мм. На рис. 1 представлена структурная схема экспериментальной установки.

Сгенерированный лазером ОА-сигнал детектировался ультразвуковым преобразователем, который прикреплялся к стенке кюветы. Кювета наполнялась раствором, содержащим наночастицы в различных концентрациях. Расстояние от лазерного пятна до ультразвукового (УЗ) приемника составило 0,5–1 см. Сигнал от УЗ датчика усиливался и регистрировался цифровым осциллографом. Полученные данные сохранялись в файл на ПК и обрабатывались отдельно. ОА сигналы отображались на осциллографе для анализа формы сигнала.

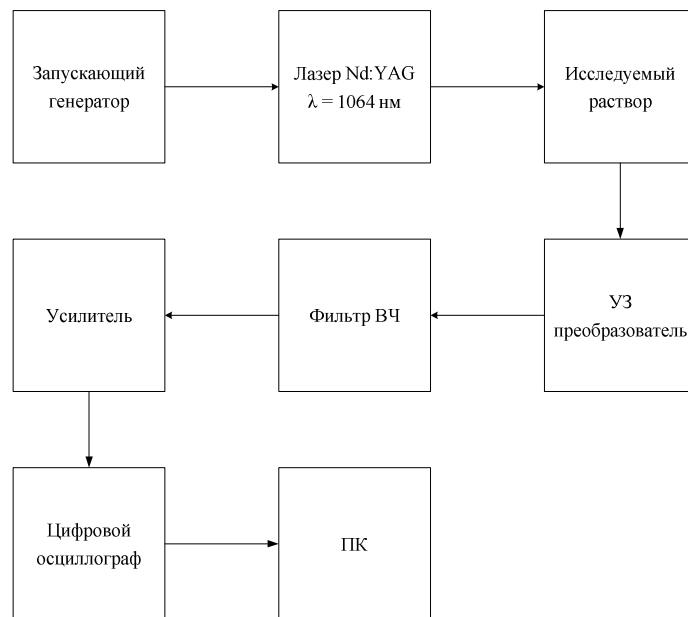


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки для *in vitro* исследований суспензий УНТ в пробирке

Для проведения исследований использовались углеродные нанотрубки (УНТ) со средней длиной 5 мкм и диаметром 20 нм и углеродные нановолокна (УНВ) со средней длиной и диаметром 70 мкм и 30 нм соответственно, которые были изго-

товлены в НОЦ «Нанотехнологии» Южного федерального университета. Нанотрубки – это структурированные частицы и в чем-то они подобны частицам сажи. Это подобие распространяется и на растворимость: ни сажа, ни углеродные нанотрубки в воде или органических жидкостях не растворяются. Более того, они даже не смачиваются водой. Поэтому для образования суспензии из УНТ для растворения нанотрубок использовался пищевой желатин. В условиях ультразвукового облучения желатин разрушает сростки однослойных нанотрубок, обволакивает трубки и переводит их в водный раствор. Для эксперимента были приготовлены 2 %, 5 %, 10 % и 15 % растворы желатина. Концентрация УНТ и УНВ в растворе составляла 0,5 и 2,5 мг/мл. Раствор с нанобъектами обрабатывался ультразвуком в течение 15 мин для равномерного распределения агрегатов. Средний размер агрегатов УНТ и УНВ в растворе контролировался при помощи оптической визуализации. Суспензия из наночастиц состояла из отдельных нанотрубок и агрегатов нанотрубок. В зависимости от продолжительности обработки ультразвуком размер агрегатов был сформирован в диапазоне от 300 мкм.

Рассмотрим источники шума, которые следует учитывать при обработке сигналов. Электронные шумы (осцилляции частотой 7 МГц) длительностью 1–2 мкс вызываются электромагнитными полями, создаваемыми лазерными источниками. Рассеянный свет лазера создает акустические колебания на поверхности преобразователя, которые начинаются сразу после лазерного импульса. Момент, когда они появляются, не зависит от расстояния между лазерным пятном и преобразователем. Для датчика, расположенного на расстоянии 0,5–1 см от лазерного луча, требуется 2–4 мкс для генерирования акустических волн от наночастиц до достижения ими преобразователя. Необходимо использовать временную селекцию для выбора подходящих ОА-сигналов от образца во временной области, таким образом, чтобы эффекты, вызванные электромагнитным полем и рассеянием света, не записывались. Кроме того, цифровая полосовая фильтрация удаляет оставшиеся шумы и колебания сигнала.

Регистрация ОА-импульсов производилась с помощью УЗ-датчиков. В качестве приемника УЗ-сигнала использовались УЗ-датчики (гидрофоны), с параметрами, представленными в табл. 1. Измерительный гидрофон состоит из чувствительного пьезоэлектрического элемента (пьезокерамика ЦТС-19), который покрыт тонким резиновым покрытием для изоляции внешнего электрода от водной среды.

На рис. 2 представлено фото УЗ-датчиков для измерения ОА-сигнала в среде с нанобъектами.

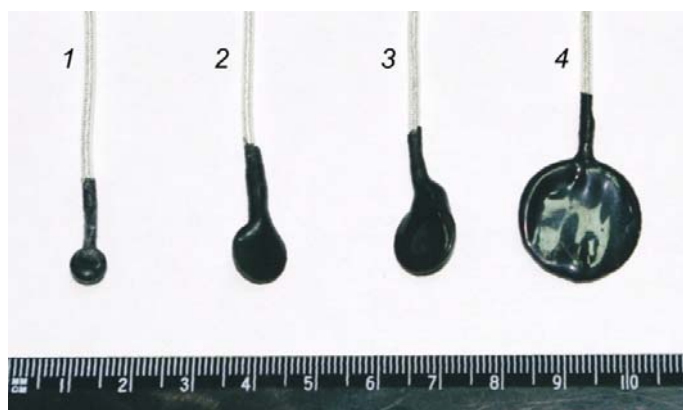


Рис. 2. УЗ-датчики для измерения ОА-импульсов

В табл. 1 представлены основные технические характеристики гидрофонов, с помощью которых проводились измерения.

Таблица 1

Образцы датчиков	Емкость С, нФ	Резонансная частота f_r , кГц	Диаметр, мм	Механическая добротность, Q
Преобразователь № 1	1,25	5598	6	≈ 64
Преобразователь № 2	3,65	3798	9,5	
Преобразователь № 3	2,05	2630	12	≈ 63
Преобразователь № 4	5,5	2175	20	

Датчики помещались непосредственно в пробирку с исследуемым раствором и закреплялись на стенке сосуда. Расстояние от облучаемой поверхности до датчика 0,5–1 см (рис. 3).

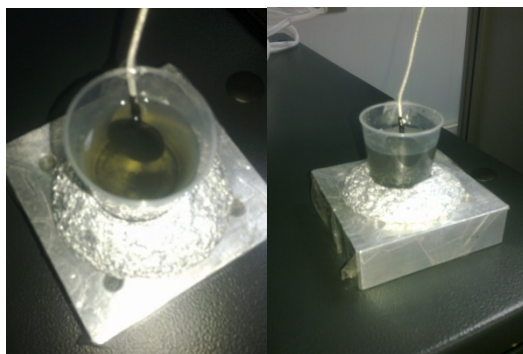
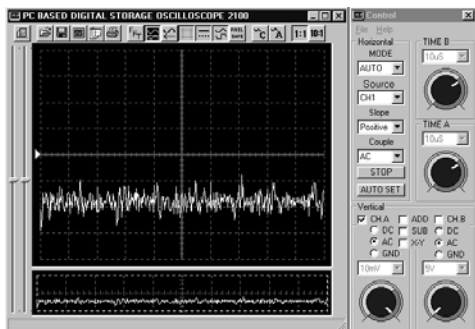


Рис. 3. Внешний вид исследуемых проб

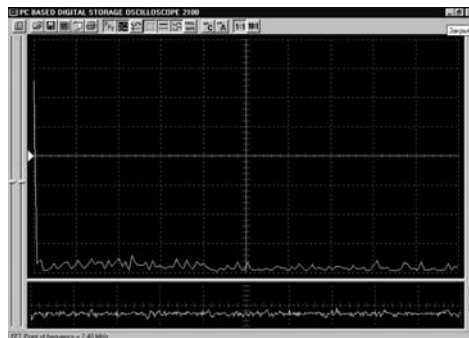
На рис. 4 изображены осциллограммы соответствующих оптоакустических сигналов без и при наличии УНТ. Хотя схема не оптимальна, она обеспечивает возможное обнаружение сигналов *invitro* от малых отдельных агрегатов нанотрубок размером 300 нм и более.

Электронные помехи и акустические колебания, вызванные электромагнитными помехами (наводками) и рассеянием лазерного излучения, устранялись с помощью фильтра верхних частот. С помощью программного обеспечения для цифрового осциллографа записывались сигналы, которые можно было сохранять в виде отдельных файлов с расширением dso и проводить их обработку. Это позволяет устранить электронные и низкочастотные шумы. Для каждого лазерного импульса программное обеспечение обрабатывает акустические волны, измеряет амплитуду ОА-сигнала и сохраняет соответствующий номер импульса и амплитуду ОА-сигналов на жесткий диск. Итоговый набор данных для каждого эксперимента включал амплитуды ОА-сигналов, соответствующие каждому последующему лазерному импульсу.

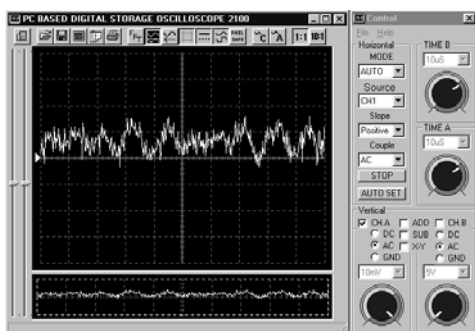
Наборы экспериментальных данных были затем проанализированы для обнаружения ОА-сигналов, находящихся выше фонового уровня. При обработке использовался критерий 3σ (тройной стандартный критерий девиации) для нахождения отличий между случайными колебаниями амплитуды сигнала и статистически значимыми изменениями.



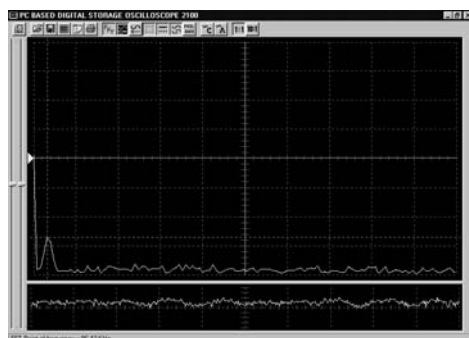
Шумовой сигнал



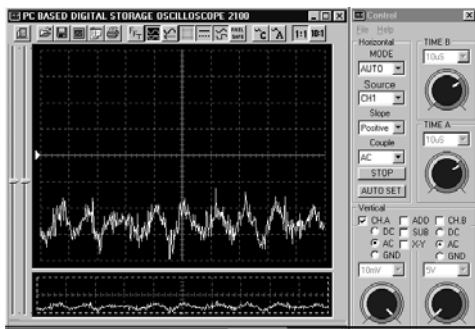
Спектр шума



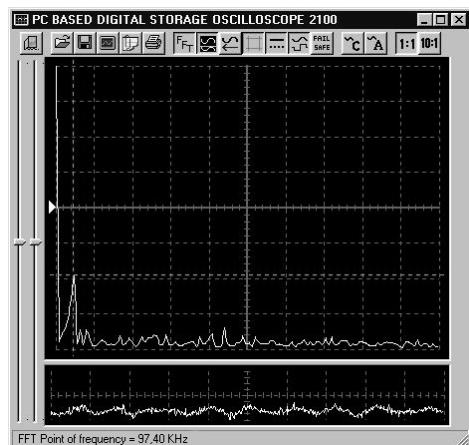
ОА-сигнал в 10 % растворе желатина



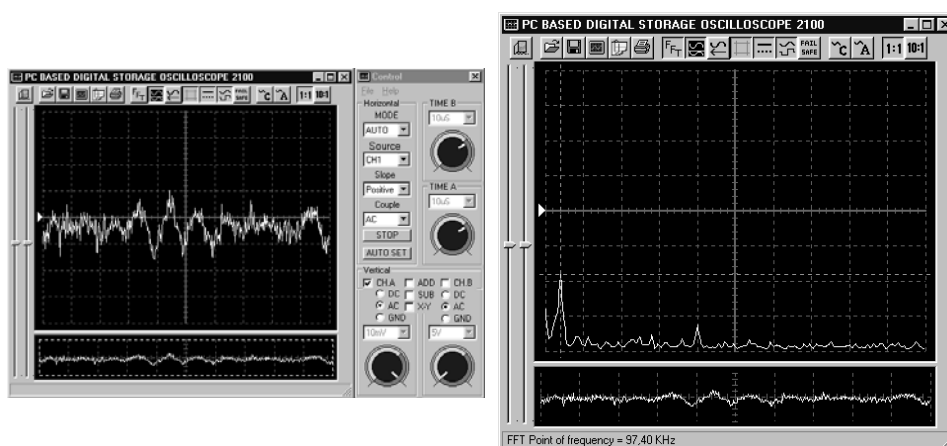
Спектр ОА-сигнала
Частота основного ОА-сигнала 100 кГц
Амплитуда максимума спектра 11 мВ



ОА-сигнал в 10 % растворе
желатина с УНТ



Спектр ОА-сигнала
Частота основного ОА-сигнала 100 кГц
Амплитуда максимума спектра 19 мВ



ОА-сигнал в 10 % растворе желатина с УНВ

Спектр ОА-сигнала
Частота основного ОА-сигнала 100 кГц
Амплитуда максимума спектра 22 мВ

Рис. 4. Результаты экспериментальных исследований

Таким образом, разработана установка для экспериментальных исследований генерации оптоакустических волн в различных суспензиях. Были подготовлены и исследованы суспензии с различными концентрациями наночастиц и нановолокон. Проведен анализ базы записей ОА-сигналов, выявлено возрастание амплитуды основной гармоники ОА-сигнала в присутствии УНТ и УНВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джуплина Г.Ю., Старченко И.Б. Теоретическая модель опико-акустического эффекта в среде с наноразмерными рассеивателями // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 10. – С. 189-192.
2. Джуплина Г.Ю., Поляков В.В., Старченко И.Б. Перспективы применений нанотехнологий в биомедицинской инженерии // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – С. 221-225.
3. Zharov V.P. Photothermal image flow cytometry in vivo [Текст] / V.P. Zharov. P., E.I. Galanzha, and V.V. Tuchin // Opt. Lett. – 2005. – № 30. – P. 628-630.
4. Джуплина Г.Ю., Соболюцкий И.С., Старченко И.Б., Шашкин М.С. Ультразвуковые исследования крови с применением наноразмерных объектов in vivo и in vitro. XXII сессия Российского акустического общества. Медицинская акустика и биоакустика. – 2010. – С. 158-162.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н. Г.В. Куповых.

Джуплина Галина Юрьевна

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: U_gali_net@mail.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371795.

Кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; аспирант.

Старченко Ирина Борисовна

E-mail: star@tsure.ru.

Кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; д.т.н.; профессор.

Закарян Ваге Араикович

E-mail: vage3000@yandex.ru.

Кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; ведущий инженер.

Саенко Александр Викторович

E-mail: aleks@fep.tti.stefu.ru.

Тел.: 88634371603.

ЦКП «Лазерные технологии» ЮФУ; аспирант.

Калашников Глеб Валерьевич

E-mail: gleb@fep.tti.stefu.ru.

ЦКП «Лазерные технологии» ЮФУ; аспирант.

Dzuplina Galina Yur'evna

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomous Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: U_gali_net@mail.ru.

44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371795.

The Department of Hydroacoustic and Medical Engineering; Post-graduate Student.

Starchenko Irina Borisovna

E-mail: star@tsure.ru.

The Department of Hydroacoustic and Medical Engineering; Dr. of Eng. Sc.; Professor.

Zakaryan Vage Araikovich

E-mail: vage3000@yandex.ru.

The Department of Hydroacoustic and Medical Engineering; Senior Engineer.

Saenko Alexander Viktorovich

E-mail: aleks@fep.tti.stefu.ru.

Phone: +78634371603.

СКР “Laser Technologies”; Post-graduate.

Kalashnikov Gleb Valer'evich

E-mail: gleb@fep.tti.stefu.ru.

СКР “Laser Technologies”; Post-graduate Student.

УДК 595.2(1-21)

Н.И. Еремеева**ФОРМИРОВАНИЕ МЕЗОФАУНЫ ЧЛЕНИСТОНОГИХ В УСЛОВИЯХ
УРБАНИЗАЦИИ**

В промышленном городе Сибири – г. Кемерово – провели исследование и сравнение мезофауны членистоногих различных городских лугов с загородной зоной. Установлено, что формирование мезофауны урбанизированных и естественных лугов происходит главным образом за счет герпетобионтов. В промышленном городе по сравнению с загородной зоной наблюдается снижение плотности популяций мезобионтов, в основном представителей герпетобионтов; численное обилие хортобионтов в условиях города, напротив, повышается. Герпетобионтное население городских лугов формируется в основном за счет хищных видов, а хортобионтное – фитофагов. В загородной зоне высока роль паразитических перепончатокрылых.

Экология насекомых; урбанизация; городская среда; хортобионты; герпетобионты; мезофауна.