

УДК 534:535

Г.Ю. Джуплина, И.Б. Старченко

**СИСТЕМА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ
АРТЕФАКТОВ В КРОВОТОКЕ**

Рассмотрен метод обнаружения артефактов в кровотоке, основанный на использовании оптоакустического эффекта. Спроектирована схема экспериментальной установки, использующая свойство нанотрубок излучать акустические волны при облучении их светом инфракрасного диапазона. Исследование предполагается проводить на образце крови, помещенном в ванну с водой. Обоснованы необходимые параметры эксперимента и выбор оборудования.

Оптоакустический эффект; нанотрубки; лазерное излучение.

G.Yu. Dzhuplina, I.B. Starchenko

**SYSTEM AND TECHNOLOGY OF INVESTIGATION OF NANOSIZED
ARTIFACTS IN BLOOD CURRENT**

The method of detecting artifacts in blood current was considered in the given article. The experimental block-scheme using the property of nanotubes to emit acoustical waves on sonification by infrared light was worked out. The investigation will be provided on the blood sample immersed into water basin. The necessary parameters of experiment and the choice of equipment were done.

Optoacoustical effect; nanotubes; laser emission

Одним из приоритетов технологического развития лидирующих мировых держав в XXI веке являются нанотехнологии, которые открывают новые возможности для эффективного развития многих отраслей науки и техники, в частности медицины. Медицина и биология являются перспективными областями применения нанотехнологий, так как они позволяют работать с веществом в микрометровых и даже нанометровых масштабах (100 нм и меньше). Именно такие размеры характерны для основных биологических структур – клеток, их составных частей (органелл) и молекул. Одной из важных составляющих приоритетных исследований в области нанотехнологий и нанонауки является как создание новых лекарственных препаратов и устройств мониторинга, так и разработка новых диагностических средств и методов, необходимых для своевременной диагностики переходных физиологических процессов и подбора необходимой терапии.

Методика обнаружения артефактов в кровотоке исследовалась В. Жаровым и его коллегами из Университета Медицинских Наук Арканзаса в Литл-Роке. Они использовали как одностенные, так и многостенные углеродные нанотрубки для обнаружения в реальном времени единичных бактериальных клеток, циркулирующих в организме живых мышей. В эксперименте [1] инфракрасным лазером ближнего диапазона (850 нм) с импульсом скважностью 50 Гц и интенсивностью 20 мкДж/см² облучали кровеносные сосуды в ухе или живой коже обезболенных мышей в течение короткого времени. В ответ на лазерный импульс углеродные нанотрубки, находящиеся на бактериях, генерировали ультразвук достаточной интенсивности для регистрации ультразвуковым преобразователем. Поэтому акустический сигнал может рассматриваться как диагностический признак.

Ранее в работах [2,3] был рассмотрен прибор для диагностики тканей живого организма *in vivo*, построенный на принципе оптоакустического эффекта – возникновение рассеянного акустического сигнала вследствие поглощения светового импульса лазера нанотрубками, имеющими сродство к компонентам тканей и вне-

клеточного матрикса, например к форменным элементам крови или бактериальным клеткам. Углеродные нанотрубки сильно поглощают лазерное излучение с длиной волны 850 нм, и вследствие оптоакустического эффекта генерируется звуковое поле, регистрируемое ультразвуковым преобразователем. Так как углеродные нанотрубки имеют сильную адгезию к бактериальным клеткам, а не к собственным клеткам живого организма, то наличие сигнала говорит о присутствии бактерий в кровотоке.

В данной работе описана экспериментальная установка для обнаружения бактериальных клеток с использованием наночастиц методом оптоакустической диагностики тканей. Ее схема представлена на рис. 1.

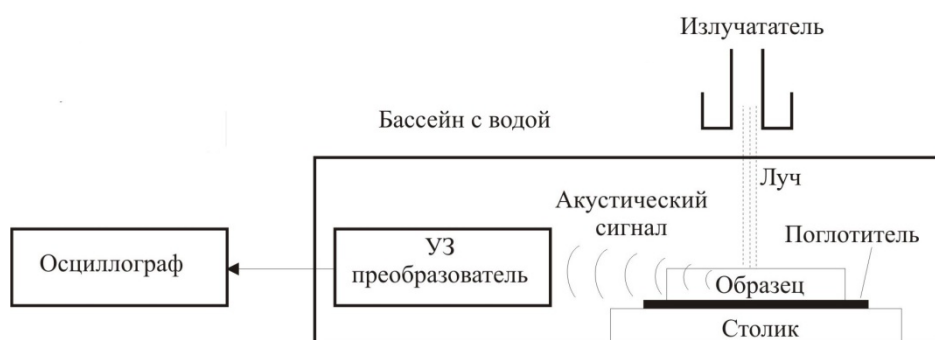


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для обнаружения бактериальных клеток с использованием наночастиц методом оптоакустической диагностики тканей

В качестве источника излучения предполагается использовать лазерную указку. Лазерная указка – портативный генератор когерентных и монохроматических электромагнитных волн видимого диапазона в виде узконаправленного луча. В большинстве случаев изготавливается на основе красного лазерного диода, который излучает в диапазоне 635–670 нм. Из-за того, что диод излучает не направлено, значительная часть излучения падает на внутренние стенки корпуса и поглощается. В связи с этим КПД лазерной указки низкий. Для организации излучения в узконаправленный луч, как правило, используется двояковыпуклая линза-коллиматор. Однако при качественной фокусировке луча (которую можно произвести самостоятельно, подкручивая прижимную гайку линзы) указку можно использовать для проведения опытов с лазерным лучом. Мощность луча указки составляет примерно 1–5 мВт.

Зелёные лазерные указки имеют сложное строение и больше напоминают по устройству настоящие лазеры. Устройство намного сложнее, чем у обычных красных указок, и зелёный свет получают следующим способом (рис. 2).

Сначала мощным (обычно >100 мВт) инфракрасным лазерным диодом с $\lambda=808$ нм накачивается кристалл ортованадата иттрия с неодимовым легированием (Nd:YVO_4), где излучение преобразуется в 1064 нм. Потом, проходя через кристалл титанила-фосфата калия (KTiPO_4 , сокращенно КТР), частота излучения удваивается ($1064 \text{ нм} \rightarrow 532 \text{ нм}$) и получается видимый зелёный свет. КПД схемы около 20 %, большая часть приходится на комбинацию 808 и 1064 нм ИК. Если убрать из конструкции удвоитель частоты, то получим излучение требуемого для эксперимента ИК-диапазона.



Рис. 2. Устройство лазерной указки

Таким образом, требуемые параметры излучения следующие: цвет луча – красный, выходная мощность – 5–100 мВт, длина волны – (640–660) – 1000 нм, диаметр луча – 2–12 мм.

Образец представляет собой каплю крови с введенным в нее посредством шприца раствором из нанотрубок. Емкость представляет собой широко используемую в биологических экспериментах чашку Петри, закрытую герметичной крышкой. Образец помещается в бассейн размером 50×50 см², заполненный водой. Луч лазера проходит через слой воды 10 см и падает перпендикулярно на образец. При этом интенсивность света, прошедшего через слой воды можно вычислить по закону Бугера–Ламберта

$$I_2 = I_1 \exp(-kd),$$

где d – толщина слоя, k – коэффициент затухания.

Ослабление лазерного пучка в биологической ткани проходит по экспоненциальному закону [4,5]. Интенсивность коллимированного излучения оценивается по закону Бугера–Вера:

$$I(z) = (1 - R) I_0 \exp(-\mu_t z),$$

где $R = n - 1$ – коэффициент отражения при нормальном падении пучка, $n + 1$, n – показатель преломления биологической ткани, I_0 – интенсивность падающего света, $\mu_t = \mu_a + \mu_s$ – полный коэффициент затухания, μ_a – коэффициент поглощения, μ_s – коэффициент рассеяния, z – толщина образца. Средняя длина свободного пробега однократно рассеянного фотона в биологической ткани определяется как $l_{p_n} = \mu_t^{-1}$.

Для регистрации акустических сигналов используется пьезокерамический гидрофон с полосой регистрации приемного тракта, не превышающей 5 МГц, при чувствительности приемника 5 мкВ/Па, помещенный в воду на расстоянии 1 см от объекта, гидрофонный усилитель, широкополосный усилитель, осциллограф и АЦП, соединенный с компьютером.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Shenkenberg D.L. Can the Miracles Promised by Carbon Nanotubes Be Realized? // *Voiphotonics*. May, 2008. – P. 34-39.
2. Джуплина Г.Ю., Старченко И.Б., Соболюцкий И.С., Шашкин М.С. Ультразвуковые исследования крови с применением наноразмерных объектов *in vivo* и *in vitro* // Сб. тр. XXII сессии Российского акустического общества и сессии Научного совета РАН по акустике. – М.: ГЕОС, 2010. – Т. III. – С. 158-162.

3. Джуплина Г.Ю., Старченко И.Б., Соболицкий И.С., Шашкин М.С. Ультразвуковые методы исследования крови с применением наночастиц // Материалы III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины». – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 273.
4. Джуплина Г.Ю., Старченко И.Б. Теоретическая модель оптикоакустического эффекта в среде с наноразмерными рассеивателями // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 10 (99). – С. 189-192.
5. Новиков Б.К., Руденко О.В., Тимошенко В.И. Нелинейная гидроакустика. – Л.: Судостроение, 1981. – 254 с.

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.

Старченко Ирина Борисовна

E-mail: star@tsure.ru.

Dzuplina Galina Yur'evna

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

E-mail: U_gali_net@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371795.

Starchenko Irina Borisovna

E-mail: star@tsure.ru.

УДК 615.47:616-072.7

В.В. Жилин, А.А. Кузьмин, Мохаммед Авад Али Абдо

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ СИСТЕМНОГО
АНАЛИЗА ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ АРТЕРИЙ**

Рассмотрено программно-аппаратное обеспечение для идентификации моделей артериального русла с целью определения степени жесткости сосудов для последующего использования этого показателя в качестве маркера сердечного риска. Для формирования признакового пространства используются авторегрессионные модели тонов Короткова, а для классификации моделей – нейросетевое моделирование.

Вязкоупругие свойства артерий; авторегрессионные модели; тоны Короткова.

V.V. Zhilin, A.A. Kuzmin, Mohammed Avad Ali Abdo

**SOFTWARE AND HARDWARE FOR THE SYSTEM ANALYSIS
OF VISCOELASTIC PROPERTIES OF ARTERIES**

Authors have considered hardware-software maintenance for identification of arterial's models for the definition of degree of vessel's rigidity. Properties of models were used as a marker of heart risk. Autoregression models of Korotkov's tones were used for formation of the factor spaces. Neuronet modelling is used for classification of models.

Viscoelastic properties of arteries; autoregression models; Korotkov's tones.