

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.*

Одна из основных задач современной кардиологии – снижение сердечно-сосудистой заболеваемости и смертности. Среди стратегий ее решения – выявление групп высокого риска для проведения профилактических медикаментозных и немедикаментозных вмешательств. В качестве инструмента для оценки риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) широко используют различные шкалы (SCORE, Фрамингемская шкала и др.). Однако практически все они предназначены для общей популяции и не могут быть использованы для пациентов с уже манифестировавшими ССЗ.

Возможность предсказания развития повторных сердечно-сосудистых осложнений (ССО) у пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) может способствовать формированию эффективной стратегии ведения этой когорты больных. Поиск надежных способов оценки прогноза продолжается. Роттердамское исследование показало высокую связь вязкоупругих свойств артерий с наличием атеросклероза и сахарного диабета. Это стало предпосылкой к изучению данного параметра как предиктора прогноза для пациентов с ИБС.

Для определения вязкоупругих свойств сосудов использовались методы идентификации линейных систем, изложенные в [1]. В этом случае модель сосудистого русла представлялась в виде линейной системы, на вход которой подается импульс Дирака. Следовательно, система может быть идентифицирована по импульсной переходной характеристике.

В качестве аппаратной поддержки моделирования использовалась установка, структурная схема которой показана на рис. 1. Для моделирования импульса Дирака на входе сосудистого русла использовалась окклюзионная проба, осуществляемая с помощью компрессора и окклюзионной манжеты. Сигнал на выходе сосудистого русла снимается с помощью микрофона, усиливается усилителем акустических сигналов и оцифровывается в звуковой карте ПЭВМ с частотой дискретизации 11 кГц. После оцифровки в памяти компьютера формируется файл данных с сигналом, график которого показан на рис. 2.

Одним из эффективных подходов к снижению размерности пространства информативных признаков в описываемых диагностических системах является построение параметрической модели, описывающие исследуемый объект, и использование параметров этой модели в качестве входного вектора для распознавания.

Для описания временных рядов широко используются ряд моделей, возбуждаемых белым шумом, – это авторегрессионная модель, модель процесса скользящего среднего и модель процесса авторегрессии – скользящего среднего [2]. Рассмотрим подробнее первый вид моделей.

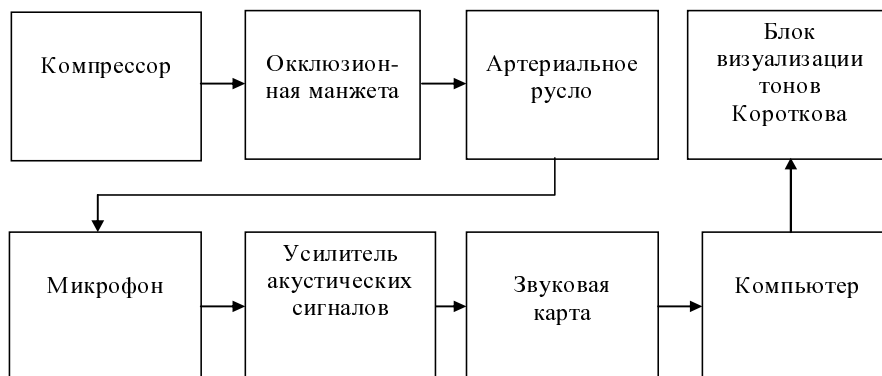


Рис. 1. Структурная схема исследовательской установки

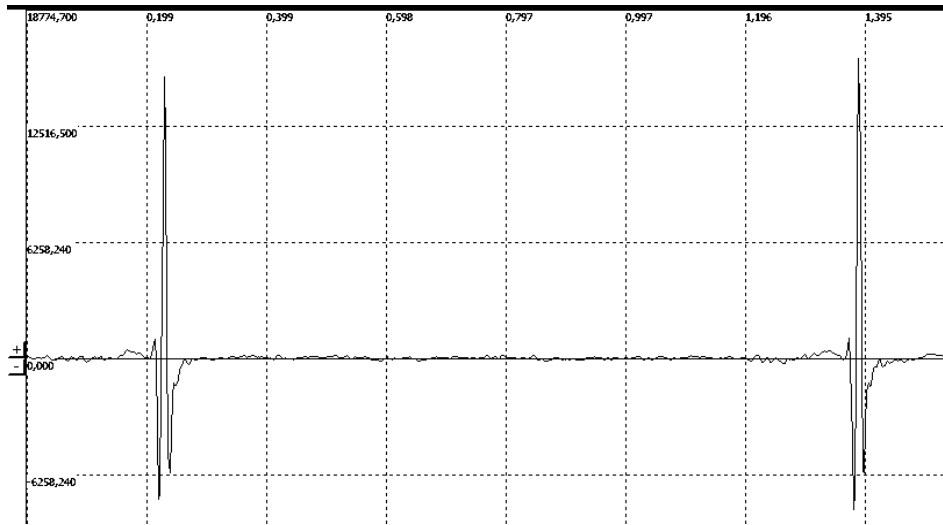


Рис. 2. Тоны Короткова

В авторегрессионной модели временного ряда  $x[n]$  значение каждого  $n$ -го отсчета является линейной комбинацией предыдущих отсчетов:

$$x[n] = - \sum_{k=1}^p a_k \cdot x[n-k], \quad (1)$$

где  $p$  – количество авторегрессионных коэффициентов, иногда называемое порядком модели.

Передаточная функция такой модели описывается рациональными функциями с полюсами:

$$H(z) = G \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^p a_k \cdot z^{-k}}, \quad (2)$$

где  $G$  – масштабный коэффициент.

Импульсная характеристика функции, соответствующей (2), может быть вычислена по формуле:

$$h(n) = G\delta(n) - \sum_{k=1}^p a_k \cdot h[n-k], \quad (3)$$

где  $\delta(n)$  – функция Кронекера.

Автокорреляционная функция также может быть вычислена по простой итерационной формуле:

$$r_{xx}[n] = - \sum_{k=1}^p a_k \cdot r_{xx}[n-k]. \quad (4)$$

Если моделируемая система точно описывается функцией вида (2), то и (3) будет выполняться точно, в противном случае возникает ошибка. В процессе минимизации этой ошибки вычисляют параметры авторегрессионной модели, а также выбирают ее порядок. В зависимости от особенностей минимизации ошибки

различают методы вычисления авторегрессионных параметров: метод Юла-Уолкера, модифицированный ковариационный метод и т.п. [3]. Точность приближения исходного сигнала и его автокорреляционной функции напрямую зависит от порядка модели.

Для построения авторегрессионных моделей и идентификации систем было создано программное обеспечение, модульная схема которого показана на рис. 3.

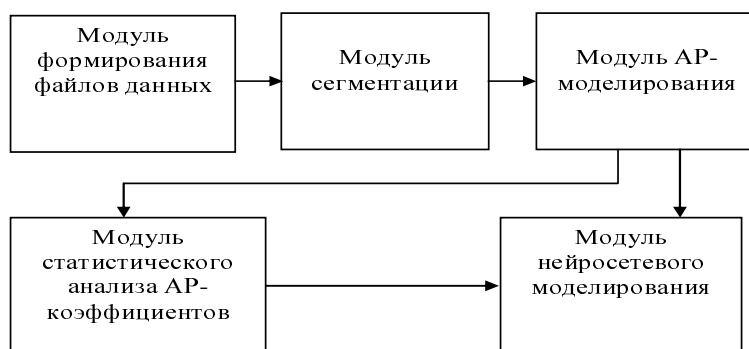


Рис. 3. Модульная схема программного обеспечения

После оцифровки сигнала тонов Короткова осуществляется сегментация данных, при этом авторегрессионная модель строится для каждой реализации тона Короткова. Пример сегментированного сигнала представлен на рис. 4.

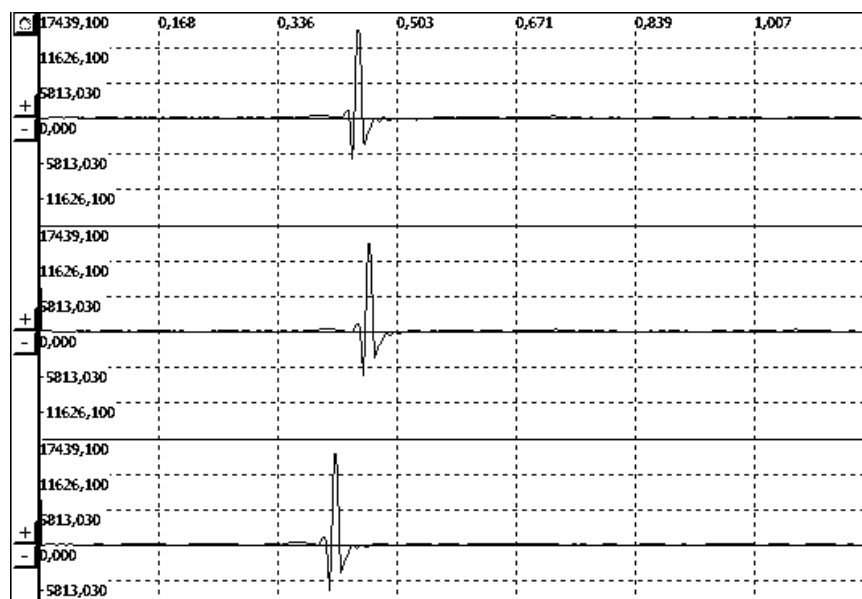


Рис. 4. Пример работы модуля сегментации тонов Короткова

После сегментации в модуле АР-моделирования рис. 3 определяются соответствующие коэффициенты регрессионных моделей.

В качестве системного классификатора использовалась многослойная нейронная сеть прямого распространения. Для идентификации моделей нейронная сеть должна быть обучена. С этой целью из больных атеросклерозом, ИБС и сахарным диабетом формировались обучающие выборки пациентов с известными

вязкоупругими свойствами артерий. В зависимости от структуры обучающих выборок, нейронная сеть может быть обучена и как аппроксиматор, и как классификатор. Если нейронная сеть обучена как аппроксиматор, то ее выход можно рассматривать как нечеткое число, характеризующее степень жесткости сосудов, изменяющееся от нуля до единицы. Это нечеткое число можно использовать в качестве фактора риска ССЗ наряду с другими факторами сердечного риска в нечеткой модели прогнозирования риска ССЗ [4].

Анализ полученных результатов показал, что форма импульсов тонов Короткова зависит от давления в манжете, от состояния сердечно-сосудистой (в основном сосудистой) системы, от состояния вегетативной нервной системы, а также от дыхания. Поэтому целью исследования было определение стабильности параметров авторегрессионных моделей, описывающих регистрируемые сигналы, во времени, а также разведочный анализ возможности применения полученных моделей для диагностики системных (таких как сахарный диабет) и сердечно-сосудистых заболеваний. Мы использовали авторегрессионные модели для описания звуковых колебаний артерий, которые наблюдаются при окклюзии лучевой артерии (тоны Короткова). Тоны Короткова регистрировались в спокойной обстановке в тихом помещении посредством установки, представленной на рис. 1. Давление в манжете фиксировалось на всем протяжении эксперимента и составляло полусумму между систолическим и диастолическим давлением. Для исследования статистических характеристик регрессионных коэффициентов использовался модуль статистического анализа (рис. 3). Результаты статистического анализа коэффициентов авторегрессионных моделей показаны в окне на рис. 5.

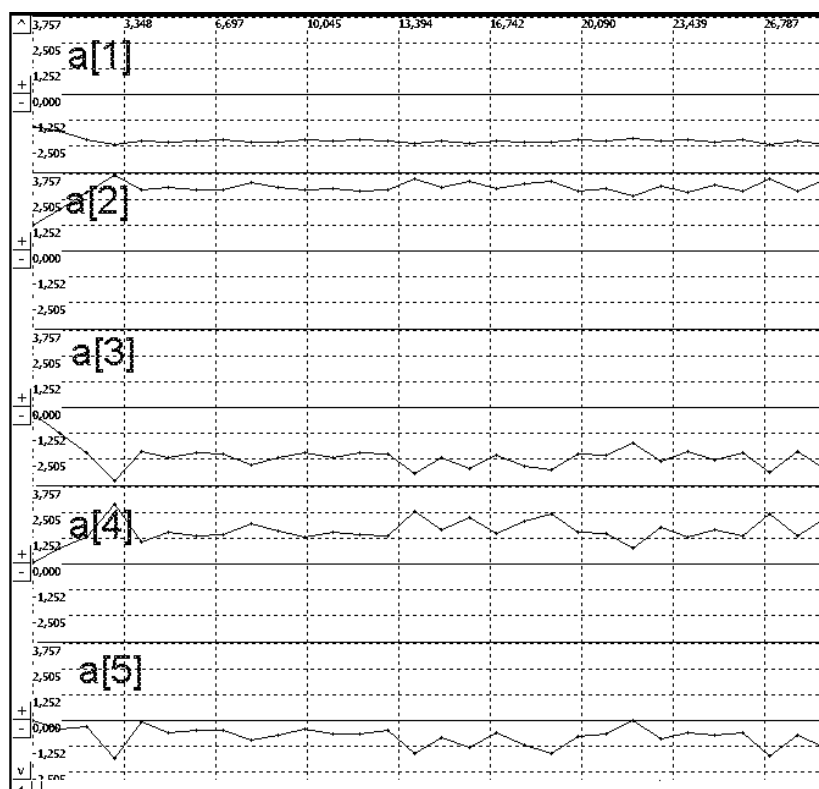


Рис. 5. Изменение первых пяти коэффициентов авторегрессионной модели тонов Короткова от квазипериода к квазипериоду

Исследования показали, что статистические характеристики коэффициентов авторегрессионной модели могут быть учтены при построении фуззификаторов и агрегаторов нечетких нейросетевых структур, предназначенных для определений риска ССЗ больных сахарным диабетом.

Статья подготовлена по результатам НИР по проблеме «Нечеткие нейросетевые структуры для прогнозирования сердечно-сосудистых рисков у больных сахарным диабетом на основе частотно-временного анализа вибрации сосудистых стенок в процессе окклюзионной пробы», выполняемой в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Льюнг Л.* Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
2. *Марпл.-мл. С.Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
3. Применение цифровой обработки сигналов / Под ред. Э.Оппенгейма: Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 552 с.
4. *Филист С.А. и др.* Гибридный способ классификации биосигналов на основе технологий нечеткой логики принятия решений и нейронных сетей // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2009. – № 5. – С. 77-82.

**Жилин Виталий Валерьевич**

ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет».

E-mail: sfilist@gmail.com.

305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Тел.: 84712587098.

**Кузьмин Александр Алексеевич**

E-mail: Ku3bmin@gmail.com.

**Мохаммед Авад Али Абдо**

E-mail: sfilist@gmail.com.

**Zhilin Vitalij Valerjevich**

Kursk State Technical University.

E-mail: sfilist@gmail.com.

94, 50-let Oktjabrja street, Kursk, 305040, Russia.

Phone: +74712587098.

**Kuzmin Alexander Alekseevich**

E-mail: Ku3bmin@gmail.com.

**Mohammed Avad Ali Abdo**

E-mail: sfilist@gmail.com.

УДК 615.47-114+61:577.3+615.47:616-085

**С.Л. Загускин**

#### **НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

*Разработан комплекс устройств для хронодиагностики и биоуправляемой хронофизиотерапии. Он обеспечивает интерактивный режим индивидуальной автоматической оптимизации параметров физиотерапии, прогностические возможности неблагоприятных реакций человека, автоматическую синхронизацию физических воздействий с фазами кровенаполнения ткани, гарантирующими положительный и стабильный лечебный эффект.*