

- 3) использовать информационную поддержку пациента при отклонении показателей состояния здоровья пациента от параметров индивидуальной нормы;
- 4) использовать мобильное уведомление врача, наблюдающего за пациентом, и медицинское сопровождение пациента в экстренных ситуациях.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 16-07-00599 «Модели, методы и система интеллектуального телемедицинского мониторинга состояния здоровья человека и прогнозирования обострения заболеваний».*

#### *Список литературы:*

1. Anisimov A., Pustozarov E., Yuldashev Z. Intelligent remote health monitoring system for patients with chronic diseases / Proceedings of the XII Russian-Germany Conference on Biomedical Engineering. Suzdal. 2016. PP. 18-22.
2. Пустозеров Е.А., Юлдашев З.М. Дистанционный мониторинг состояния больных сахарным диабетом // Медицинская техника. 2014. № 2. С. 15-18.

3. Анисимов А.А., Юлдашев З.М., Бибичева Ю.Г. Безокклюзионная оценка динамики артериального давления по времени распространения пульсовой волны // Медицинская техника. 2014. № 2. С. 8-12.
4. Пустозеров Е.А., Юлдашев З.М. Система mhealth для информационной поддержки больного сахарным диабетом // Биотехносфера. 2013. № 1 (25). С. 39-44.

*Зафар Мухамедович Юлдашев,  
д-р техн. наук, профессор,  
зав. кафедрой,*

*Алексей Андреевич Анисимов,  
аспирант, ассистент,  
кафедра биотехнических систем,  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,  
г. С.-Петербург,  
e-mail: yuld@mail.ru*

**А.М. Гатауллин, А.В. Овчинников**

## **Применение оборудования «CompactRIO» и программной среды LabView для одновременной регистрации и обработки биоэлектрических сигналов различного типа**

### **Аннотация**

Для одновременной регистрации электроэнцефалограмм и других биоэлектрических сигналов предлагается система сбора информации «CompactRIO» фирмы «National Instruments» (США), состоящая из шасси со вставляемыми 32-канальными NI-9205 модулями записи биологических сигналов.

Разработан виртуальный прибор с реализованными алгоритмами обработки сигнала ЭЭГ в программной среде LabView, позволяющий рассчитать амплитуды основных ритмов, частотно-амплитудный и частотно-временной спектры сигналов ЭЭГ в различных отведениях.

### **Введение**

В настоящее время для диагностики ряда заболеваний (эпилепсия, тревожные состояния, нарушения сна) разрабатываются различные методы регистрации и обработки биоэлектрических сигналов, в том числе комплексные (полисомнография), с одновременной записью сигналов электроэнцефалограмм (ЭЭГ), электрокардиограмм (ЭКГ), электромиограмм (ЭМГ), храпа и др. [1]-[3]. При этом чаще всего исследователи и медицинские работники не имеют возможности перестраивать и программировать оборудование для усовершенствования диагностических методик по причине жесткой архитектуры имеющегося оборудования. Компания «National Instruments» (NI) выпускает специальное оборудование модульного типа для исследователей и разработчиков.

Целью рассматриваемой работы является разработка модульной системы регистрации и обработки сигналов ЭЭГ, ЭМГ и ЭКГ пациентов с применением системы сбора данных NI «CompactRIO» (rapid input-output) и программной среды NI LabView для обеспечения свободы исследователей в выборе концепции анализа данных при независимости от имеющегося нейрофизиологического оборудования.

### **Материалы и методы**

#### **Краткое описание NI «CompactRIO» для реализации системы сбора и обработки сигналов ЭЭГ**

NI «CompactRIO» представляет собой систему сбора данных с реконфигурируемым или перенастраиваемым входом в соответствии с параметрами входного сигнала и числа датчи-

ков. Иными словами, с одной системой сбора данных NI «CompactRIO» можно использовать модули различного типа, предназначенные для регистрации токов и напряжений различного диапазона. Это позволяет одновременно регистрировать сигналы ЭЭГ, ЭМГ и ЭКГ.

Для записи биологических сигналов фирмой «National Instruments» разработан специальный модуль NI 9205, который можно с различными предусилителями применять для записи ЭЭГ и ЭКГ. NI «CompactRIO» состоит из следующих основных блоков: шасси с 4 или 8 слотами, в шасси вставляются модули сбора данных различного назначения (рис. 1). Слот шасси – это гнездо с COM-портом для присоединения модулей сбора данных. COM-порт – стандартный вход для связи различных устройств с персональным компьютером. С помощью встроенного в шасси микроконтроллера через USB-канал происходит обмен данными и управляющими командами с персональным компьютером. Данные записываются в память персонального компьютера для дальнейшей программной обработки. Обработка данных осуществляется с помощью различных программ, но удобнее это делать с помощью NI LabView. Из полученных с помощью системы сбора данных NI «CompactRIO» «сырых» данных ЭЭГ, ЭМГ, ЭКГ можно извлечь различную диагностическую информацию, реализовав алгоритмы обработки сигнала в виде виртуального прибора (VI) NI LabView. В том числе можно рассчитать амплитуду тета-, альфа-, бета-ритмов, а также амплитудный и частотно-временной спектры перечисленных сигналов.

Система сбора и обработки данных ЭЭГ на основе NI «CompactRIO» реализуется исходя из числа пациентов и поставленных задач; для этого выбираются подходящее шасси и модули сбора данных. Например, если нужно зарегистриро-

вать еще 5 типов биологических сигналов (реоэнцефалограмма, пульсограмма, кожно-гальваническая реакция, частота экскурсии грудной клетки, храп и др.) и предполагается их одновременная запись в режиме ночного сна, то нужно взять 8-слотовое шасси и 8 модулей NI-9205. NI «CompactRIO» соединяется с компьютером через USB-порт. Предварительно установленные драйверы NI «CompactRIO» позволяют инициализировать модули и считывать с них сигналы ЭЭГ, для обработки которых пишется программа в среде NI LabView.

Можно сказать, что модуль NI-9205 представляет собой фильтр и усилитель в одном корпусе с 32 аналоговыми входами, специально разработанный для приема биологических сигналов с максимальным соотношением сигнал-шум. Шасси, в которое вставляется модуль NI-9205, содержит микроконтроллер, конфигурируемый с персонального компьютера. Собранные вместе шасси, модули и драйвер представляют собой систему сбора данных NI «CompactRIO». С одним шасси можно применить до 8 модулей NI-9205. Микроконтроллер системы сбора данных NI «CompactRIO», встроенный в шасси, поочередно опрашивает модули NI-9205, разделяя потоки данных, записывает эти данные в свою буферную память и отправляет по USB-каналу на персональный компьютер. Таким образом, драйвер NI «CompactRIO» конфигурирует вход в соответствии с количеством вставленных в шасси модулей сбора данных. Например, если мы добавляем новый модуль в 8-слотовое шасси, в котором уже было семь модулей NI-9205, то новый модуль инициализируется и мы сможем на экране персонального компьютера отобразить сигналы ЭЭГ от всех 8 модулей NI-9205, в том числе отдельно по каждому отведению.

## Результаты

### Блок-диаграмма виртуального прибора для сбора и обработки данных ЭЭГ

В LabView программа называется виртуальным прибором, состоит из блок-диаграммы и передней панели (рис. 2). Пользователь видит на экране персонального компьютера переднюю панель виртуального прибора, а разработчик виртуального прибора – блок-диаграмму [4]-[7].

Виртуальный прибор для сбора данных ЭЭГ, представленный на рис. 2, ввиду громоздкости реализован в самом простом варианте для одного модуля NI-9205 и состоит из виртуальных подприборов (VI). Рассмотрим их в порядке прохож-

дения сигнала ЭЭГ (рис. 2а): 1 – оцифровка данных, поступающих от датчиков ЭЭГ; 2, 3, 4 – фильтры для выделения сигналов тета-, альфа-, бета-ритмов; 5 – «Spectral Measurements» позволяет с помощью встроенных алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ) отобразить амплитудный спектр сигнала ЭЭГ; 6, 8, 10 – вычисление амплитуды и интенсивности альфа-, бета- и тета-ритмов ЭЭГ; 7, 9, 11 – отображение вычисленных амплитуды и интенсивности альфа-, бета- и тета-ритмов ЭЭГ; 12, 13 – параметры вычисления спектрограммы; 14 – выделение массива для вычисления спектрограммы ЭЭГ; 15 – вычисление спектрограммы ЭЭГ; 16 – отображение спектрограммы ЭЭГ; 17, 18 – элементы математического вычисления для удобного отображения альфа-, бета- и тета-ритмов ЭЭГ на фронт-панели VI; 19 – осциллограммы альфа-, бета- и тета-ритмов ЭЭГ; 20 – осциллограмма исходного сигнала ЭЭГ; 21 – отображение амплитудного спектра ЭЭГ; 22 – булева операция, связанная с остановкой виртуального прибора в случае возникновения ошибки обработки данных.

Настроив DAQ Assistant, можно визуализировать сигналы ЭЭГ от всех отведений или сигнал от каждого отведения в отдельности.

На рис. 2б в верхнем ряду слева направо представлены: 16 отведений ЭЭГ, отфильтрованная тета-активность в одном из отведений за данный промежуток времени, спектрограмма альфа-ритма в одном отведении. Полосы выделяют наиболее характерные частоты: чем ближе к белому цвету, тем в большей степени эти частоты представлены в сигнале ЭЭГ в определенный момент времени.

Второй ряд: частотно-амплитудный спектр сигнала ЭЭГ в одном из отведений, реализованный с помощью алгоритмов БПФ, сигнал альфа-ритма в одном отведении, сигнал бета-ритма в одном отведении, частотно-временной спектр сигнала ЭЭГ одного из отведений (Fp1-A1), реализованный с помощью VI «спектрограмма». Спектр сигнала широкий, но в основном сигнал встречается на низких частотах до 40 Гц.

Нижний ряд: размах, амплитуда и интенсивность тета-, альфа- и бета-ритмов ЭЭГ одного из отведений, где размах определяется как среднее расстояние между минимальным и максимальным значениями на соответствующей осциллограмме, амплитуда – как среднее максимальное отклонение от точки отсчета, интенсивность соответствует частоте следования сигналов.

Полезным дополнением к традиционному БПФ могут послужить алгоритмы вейвлет-преобразования, позволяющие

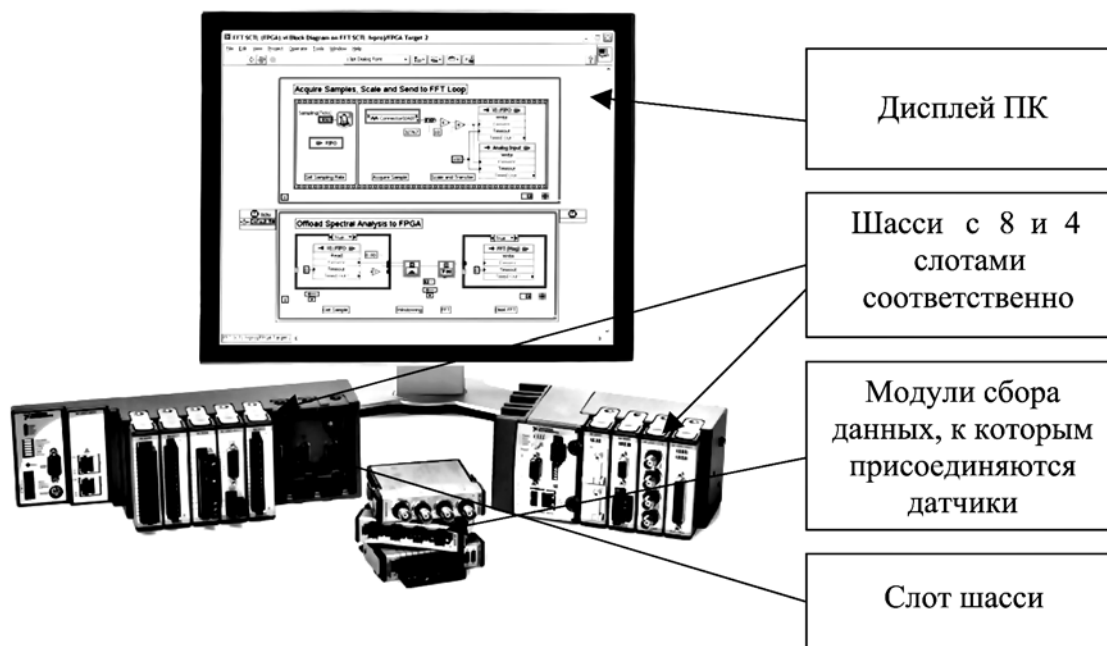


Рис. 1. Основные части системы сбора данных NI «CompactRIO»

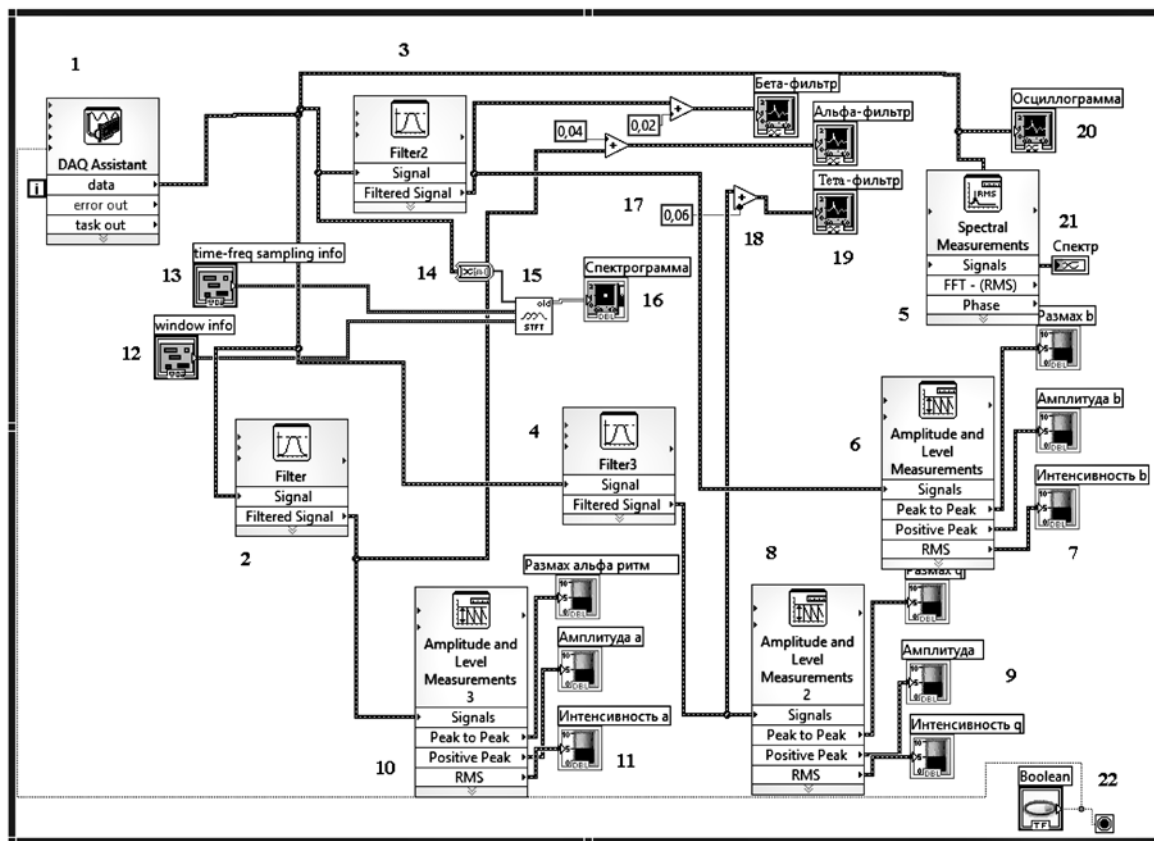
отслеживать динамику частотных составляющих за каждый промежуток времени. БПФ отражает частотно-амплитудную зависимость за весь имеющийся промежуток времени.

Обе спектрограммы справа реализованы алгоритмами вейвлет-анализа, применив которые получили частотно-временные зависимости сигналов ЭЭГ одного из отведений.

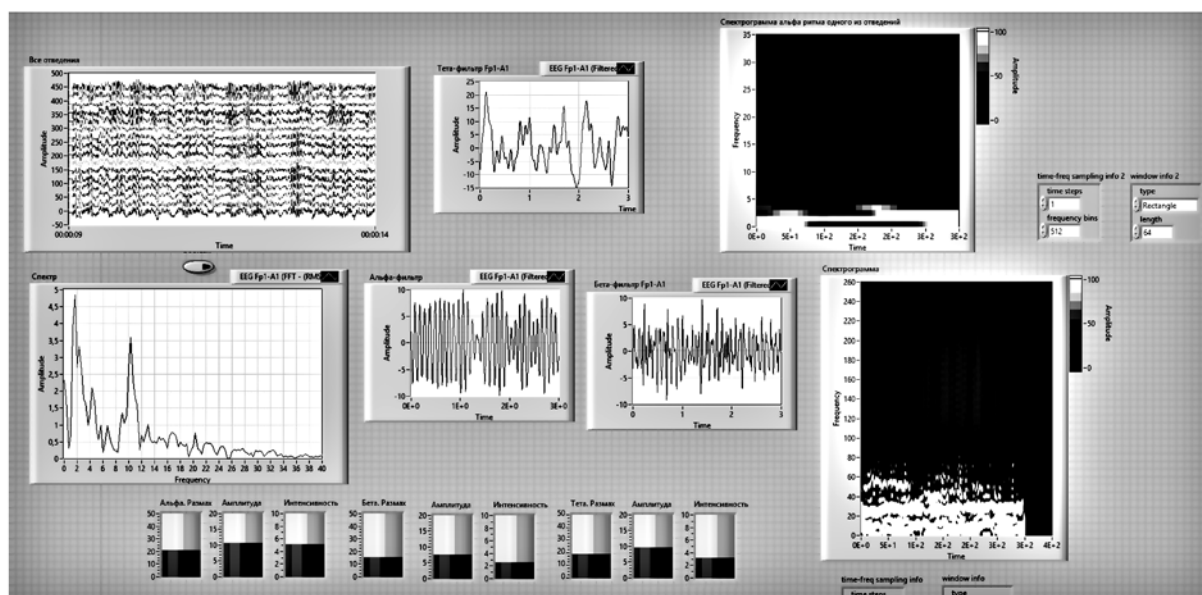
Усилительные каскады предусилителей биологических сигналов, в том числе ЭЭГ (рис. 3а), удобно предварительно вир-

туально проектировать и тестировать в «Multisim». «Multisim» – многофункциональный симулятор «National Instruments». Для подавления помех предусилитель полезно дополнять фильтром нижних частот (рис. 3б).

Одновременно можно оцифровывать и отображать биологические сигналы различных типов, например полученные методом неинвазивного измерения артериального давления, ЭКГ (рис. 4).



а)



б)

Рис. 2. Виртуальный прибор для сбора и обработки данных ЭЭГ:  
а) блок-диаграмма виртуального прибора; б) передняя панель виртуального прибора (пояснения в тексте)

## Закключение

Возможности LabView позволяют отображать и анализировать биологические сигналы различного типа на фронт-панели одного VI, а также сравнивать полученные данные с параметрами модельных сигналов аналогичного типа, например ЭКГ, что заметно ускоряет обработку биологических сигналов и повышает качество диагностической информации.

Можно сделать вывод, что система сбора данных на базе NI «CompactRIO», модуля NI-9205, предусилителей на базе

микросхем INA 126 позволяет регистрировать исходные данные ЭЭГ, ЭКГ, ЭМГ и других биологических сигналов, а LabView очень удобна для реализации самых сложных алгоритмов обработки этих данных и извлечения качественной диагностической клинической информации.

### Список литературы:

1. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. – М.: МЕДпресс-информ, 2004. 624 с.

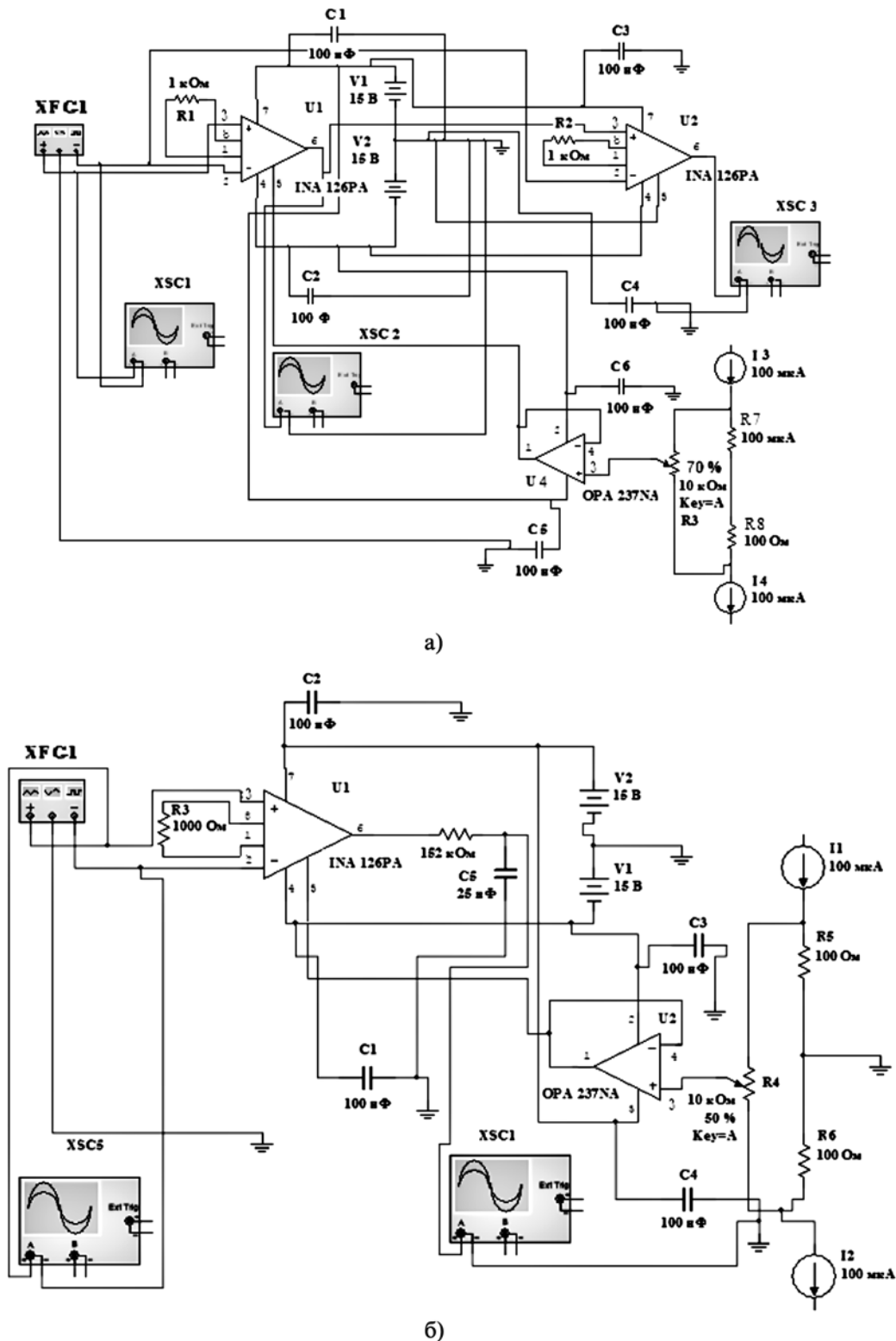


Рис. 3. Схема двухкаскадного усилителя ЭЭГ на базе микросхемы INA 126 (а); схема предусилителя биологических сигналов на базе микросхемы INA 126 с фильтром нижних частот с частотой среза 42 Гц (б). Слева сверху – генератор стандартных сигналов

2. Зенков Л.Р., Ронкин М.А. Функциональная диагностика нервных болезней. Руководство. – М.: Медицина, 1991.
3. Зенков Л.Р., Ронкин М.А. Функциональная диагностика нервных болезней. – М.: МЕДпресс-информ, 2004.
4. Вводный курс LabView. National Instruments / <http://www.ni.com/russia>.
5. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Пер. с англ. под ред. А.П. Немирко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 440 с.
6. Суранов А.Я. LabView 8.20. Справочник по функциям. – М.: ДМК пресс, 2007. 536 с.
7. Тревис Дж. LabView для всех. – М.: ДМК пресс, 2005. 537 с.

*Айрат Мухамедович Гатауллин,*  
канд. техн. наук, доцент,  
кафедра релейной защиты и автоматизации  
электроэнергетических систем,  
Казанский государственный  
энергетический университет,  
Александр Витальевич Овчинников,  
канд. мед. наук, врач-нейрофизиолог,  
Казанская государственная  
медицинская академия,  
г. Казань,  
e-mail: avitov@yandex.ru

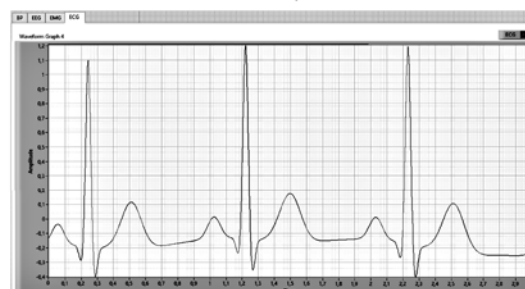
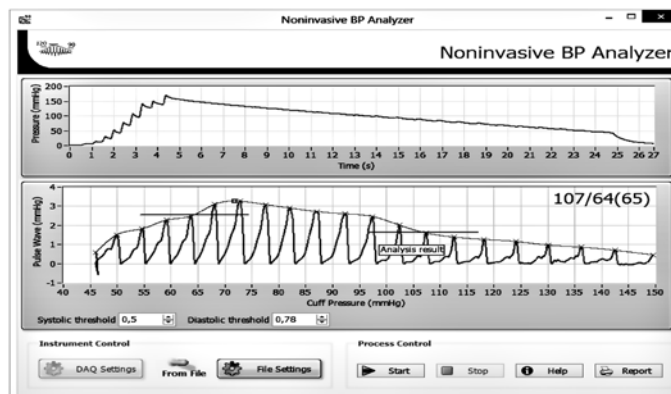


Рис. 4. Примеры регистрации других биоэлектрических сигналов: а) параметры измеренного артериального давления; б) сигнал ЭКГ

С.П. Драган, А.В. Богомолов, А.Д. Котляр-Шапилов, Е.А. Кондратьева

## Метод импедансометрического исследования акустического рефлекса

### Аннотация

Изложен метод импедансометрического исследования акустического рефлекса, предполагающий регистрацию реакции барабанной перепонки в ответ на звуковую стимуляцию путем измерения акустического импеданса в наружном слуховом проходе, и представлены результаты исследования его потенциальных возможностей с помощью физического моделирования (на основе резонатора Гельмгольца) и натурного исследования (с участием испытуемых-добровольцев).

В соответствии с современными представлениями информативным диагностическим критерием многих заболеваний органа слуха являются характеристики акустического рефлекса – одновременного рефлекторного сжатия мышц, связанных со слуховыми косточками среднего уха, при воздействии звуков [1]-[4]. Под воздействием колебаний звукопроводящего окружения барабанная перепонка подвергается упругим вибрациям, динамические характеристики которых позволяют оценить ее состояние. Поэтому исследования акустического рефлекса неразрывно связаны с исследованиями состояния барабанной перепонки.

Одним из наиболее информативных методов исследования барабанной перепонки в интересах объективной диагностики нарушений слуха является *акустическая рефлексометрия*, предполагающая регистрацию реакции барабанной перепонки на звуковую стимуляцию по результатам измерения акустического импеданса в герметизированном наружном слуховом проходе при звуковой стимуляции двумя тонами: стимулирующим (вызывающим сокращение стременной мышцы) и зондирующим (используемым для фиксации изменений импеданса с помощью электроакустического моста) [2]. Измерение акустического импеданса принято осуществлять на основе метода двух микрофонов, обеспечивающего определение импеданса наружного слухового прохода с барабанной перепонкой в широком частотном диапазоне.

Для реализации импедансометрического исследования акустического рефлекса необходимо обеспечить распространение звуковой волны в волноводе постоянного сечения, герметично сочлененном с наружным слуховым проходом (НСП) [5]-[8]. Барабанная перепонка размещена в конце НСП, не перпендикулярно его оси, и имеет неправильную форму. НСП представляет собой изогнутую трубку неправильной формы овального сечения длиной порядка 2,5 см и диаметром около 7 мм. Герметичное сочленение волновода с НСП достигается за счет использования силиконовых вкладышей, внутренний диаметр которых составляет 3 мм, т. е. при обеспечении герметичности соединения волновода с НСП обязательно присутствует скачок сечения на границе вкладыш – НСП. Поэтому импеданс барабанной перепонки необходимо оценивать в комплексе с НСП и с устройством герметичного сочленения.

С этой целью представим устройство соединения волновода с НСП и барабанной перепонкой как резонатор Гельмгольца: волновод заканчивается перфорированной панелью с диаметром отверстий 3 мм, горлом резонатора Гельмгольца является узкая трубка длиной 8 см с внутренним диаметром 3 мм, один конец которой соединен с перфорированным отверстием в волноводе, а на другом конце крепится силиконовая накладка, обеспечивающая герметичное соединение с НСП. Объемом резонатора Гельмгольца является НСП, заканчивающийся барабанной перепонкой. При проявлении акустичес-