Применение систем слежения позволяет повысить в 2 раза эффективность использования ФМ, ФМ работает с максимальной мощностью. Применение следящих систем позволяет избежать провала в мощности в летние месяцы, когда сбор энергии максимально эффективен.

Выводы

- создана большая база измерений ВАХ ФМ и основных климатических параметров, которая позволяет оценить влияние климатических факторов на выходные характеристики ФМ.;
- определена эффективность работы ФМ в Томске, которая позволяет сделать вывод об эффективности применения солнечных систем на территории как Томска, так и Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрченко, А.В. Мобильная станция мониторинга работы солнечных батарей в натурных условиях [Текст] / А.В. Юрченко, А.В. Козлов // Датчик и системы, 2006.-№9.-С. 64-67.
6. Козлов, А.В.. Контроль влияния параметров атмосферы на энергетические характеристики кремниевой солнечной батареи : дис ... канд.техн.наук : 05.11.13 / Артем Владимирович Козлов; [Место защиты: Том. политехн. ун-т] - Томск, 2008 - 110 с. ил.
7. Козлов, А.В. Влияние параметров атмосферы на энергетические характеристики кремниевой солнечной батареи [Текст] / А.В. Козлов, А.В. Юрченко, Д.А. Пестунов // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. № 8. С. 731-734.
8. Охорзина, А.В. Системы слежения за солнцем с применением ФЭД [Текст] / А.В. Охорзина, М.В. Китаева, А.В. Юрченко, А.В. Скороходов // Ползуновский вестник. 2012. № 2-1. С. 213-217..

*Д.т.н., профессор **Юрченко А.В.** - niipp@inbox.ru, доцент, к.т.н. **Козлов А.В.** – artem@iao.ru , аспирант **Охорзина А.В.** - ameba_89@mail.ru; аспирант **Китаева М.В.** - kitaevam@tpu.ru, тел. (3822) 41-89-11.- кафедра информационно-измерительной техники, Томский политехнический университет*

УДК 616-71

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЭКСПРЕСС ДИАГНОСТИКИ ИШЕМИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЦА И КАРМАННОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА ДЛЯ ЕЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

А.А. Уваров, И.А. Лежнина, К.В. Оверчук, А.С. Старчак, А.А. Порхунов

Современные системы теле-ЭКГ индивидуального использования решают не все актуальные задачи ЭКГ диагностики. Существует потребность в создании портативных приборов, пригодных для диагностики как нарушений ритма сердца, так и ишемических патологий в условиях ежедневного применения без необходимости наложения электродов. Авторами создан базовый модуль такого прибора и ведутся исследования по разработке метода диагностики с использованием разрабатываемого модуля грудных электродов.

Ключевые слова: электрокардиограф, карманный электрокардиограф, теле-ЭКГ, сухие электроды

Введение

Системы теле-ЭКГ и телемедицины активно входят в повседневную практику и, даже несмотря на сложности с внедрением, рассматриваются как один из перспективных и, возможно, основных способов оказания услуг по ЭКГ диагностике в будущем [1].Более того, актуальной проблемой на данный момент становится создание систем домашней диагностики, что должно существенно повысить качество сопровождения пациентов с установленными диагнозами.

Из собственного опыта общения с медицинским персоналом авторы отмечают положительную реакцию и заинтересованность лечащих врачей во внедрении таких систем. Тем не менее, уровень их внедрения остается крайне низким, ограничиваясь в основном, локальными проектами. Наряду с экономическими, организационными и бюрократическими причинами это обусловлено, прежде всего, более фундаментальной проблемой эффективности применения подобных комплексов[2].

Чтобы детально понять достоинства и недостатки доступных в России решений был проведен обзор и анализ рынка приборов домашней теле-ЭКГ[3].

Обзор и анализ индивидуальных систем теле-ЭКГ

Все электрокардиографы индивидуального применения можно разделить на две категории: домашние, и портативные, или «карманные» (таблица 1).

Таблица 2 - Сравнение индивидуальных систем теле-ЭКГ, доступных в России

№	Система	Производитель	Цена, р.	Класс	Диагностика
1	Кардиометр МТ	ЗАО «МИКАРД-ЛАНА»	29 500	Дом.	12 отведений / все диагнозы по 12 отведениям
2	Миокард - 12	ООО «НИМП ЕСН»	30 000	Дом.	12 отведений / все диагнозы по 12 отведениям
3	Телекард	ООО «Компания TREDEX»	-	Дом.	12 отведений / все диагнозы по 12 отведениям
4	HeartView P12/8 Plus	ООО «МедТелеСервис» (импорт, Израиль)	25 000	Дом.	8 отведений/ приблизительная постановка диагноза
5	Кардиоджет	ООО "Медицинские Телеметрические Системы"	18 000	Дом.	одновременно 2 отведения, 12 поочередно / приблизительная постановка диагноза
6	АрмедРС-80	ООО «Армед» (импорт, Китай)	7 900	Карм.	1 отведение (3 с доп. кабелем) / аритмии, ИБС (частично)

Домашние электрокардиографы (рисунок 1, а)представляют собой ориентированные на частного пользователя приборы с упрощенной структурой и низкой ценой. Чаще всего они не имеют собственных органов управления и дисплея и выполняются в виде измерительных приставок к персональному компьютеру, на который устанавливается специализированное программное обеспечение. Способ работы с таким прибором практически ничем не отличается от стандартного способа измерения и предполагает самостоятельное наложение электродов. Быстрое получение диагноза не предусмотрено, после регистрации запись передается в центр диагностики, где обрабатывается специалистом с последующей отправкой заключения пользователю.

а) б)

Рисунок 1 – Внешний вид индивидуальных электрокардиографов: а – домашний электрокардиограф CardioJet, б – карманный электрокардиограф АрмедРС-80В

В отличие от домашних, карманные электрокардиографы (рисунок 1, б) представляют собой законченные устройства, часто снабжаются экраном и позволяют получить приблизительный анализ сразу после измерения, а также, при желании, отправить запись на более подробную расшифровку. В этих приборах отсутствуют провода, а измерение производится по «урезанной» системе отведений с помощью встроенных в корпус электродов. Классическая схема применения требует приложить большие пальцы обеих рук к электродам на поверхности прибора и подождать порядка 30 сек. Ключевое преимущество карманных электрокардиографов — портативность и возможность получить диагноз где угодно и когда угодно, ценой уменьшения диагностической ценности.

Обобщая, существует два класса приборов, каждый из которых имеет один из двух ключевых недостатков, мешающих их эффективному применению: домашние кардиографы не мобильны, а значит, не могут применяться для выявления внезапных приступов; карманные кардиографы малоэффективны при диагностике ишемии и инфарктов.

Идея авторов состоит в том, чтобы разработать прибор, совмещающий оба подхода, т.е. карманный кардиограф с функцией быстрой регистрации грудных отведений, необходимых для диагностики ишемии. При этом, регистрация грудных отведений должна происходит быстро и не вызывать сложностей у пользователя. Достичь этого можно путем сокращения количества отведений и разработки специального грудного модуля, позволяющего быстро измерить ЭКГ с помощью прикладывания к груди без необходимости механического крепления.

Таким образом, в рамках проекта была выполнена разработка базового карманного электрокардиографа и в данный момент ведется работа над грудным модулем.

Разработка карманного кардиографа

Для апробации предложенного метода регистрации ЭКГ был разработан карманный электрокардиограф с возможностью подключения дополнительных грудных электродов

(рисунок 3). В приборе предусмотрена одновременная регистрация до двух грудных отведений для возможности сравнения традиционной методики и вновь предложенной. Регистрация осуществляется с помощью обычных медицинских электродов и набора кабелей для подключения. Также в данный момент ведется разработка отдельного измерительного модуля со встроенными сухими электродами.

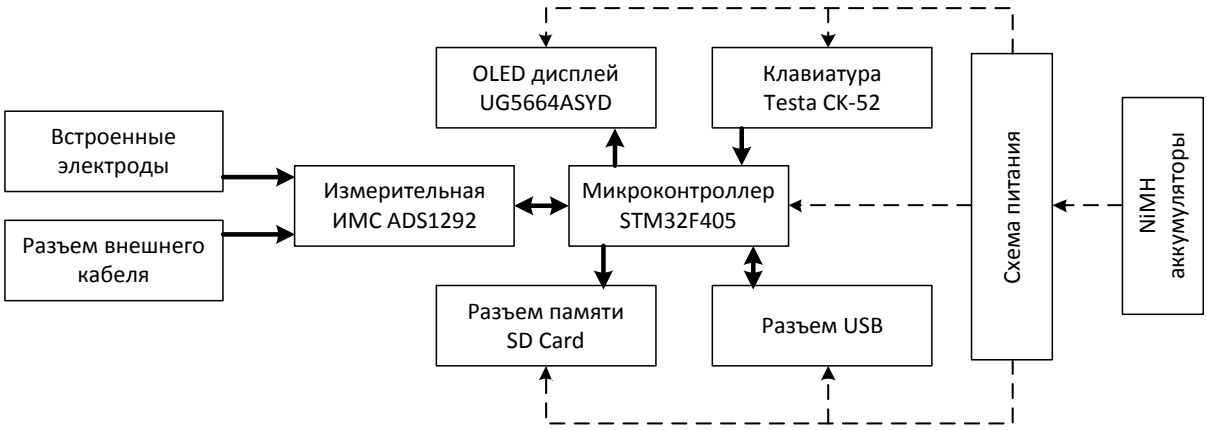

Рисунок 2 – Структурная схема разработанного карманного электрокардиографа

Измерительная схема прибора (рисунок 2) построена на специализированной интегральной схемы для электрокардиографии *ADS*1292 фирмы *TexasInstruments*. Применение схемы позволяет сократить количество компонентов на плате и при этом добавить в прибор целый ряд таких дополнительных функций, как самотестирование, измерение кожно-электродного импеданса, автоматические обнаружение обрыва измерительной цепи.

Измерительная схема полностью соответствует всем требованиями, предъявляемым к электрокардиографам:

- Частота дискретизации 500 Гц;
- Разрешение АЦП 24 бита;
- Ток утечки через пациента 200 пА;
- Входное сопротивление 500 Мом;
- Коэффициент подавления синфазных помех 105дБ;
- Энергопотребление 1 мВт.

Кроме схемы измерения, в приборе также используются компоненты, представленные в виде структурной схемы на рисунке 2. Программное обеспечение прибора работает на базе операционной системы реального времени FreeRTOS, что обеспечивает легкое масштабирование и добавление новых функций обработки в будущем.

Рисунок 3 – Внешний вид разработанного прибора вместе с внешним кабелем для грудных отведений

Встроенные в корпус датчики выполнены из фольгированного стеклотекстолита с последующим покрытием одним из трех возможных металлов: припоем ПОС-63, гальваническим золотом или серебром.

На рисунках 4, 5, 6 показаны данные, демонстрирующие качество регистрации ЭКГ с помощью встроенных металлических электродов. На основании этих данных установлено, что:

1. Регистрация с помощью встроенных электродов не искажает форму сигнала и такие записи вполне пригодны для анализа ЭКГ в стандартных клинических применениях;
2. Встроенные металлические электроды вызывают существенно более высокий дрейф и смещение изолинии в сравнении со стандартными хлорсеребряными, что объясняется склонностью металла к накоплению заряда; данный эффект может быть устранен с помощью процедур обработки (реализовано в приборе);

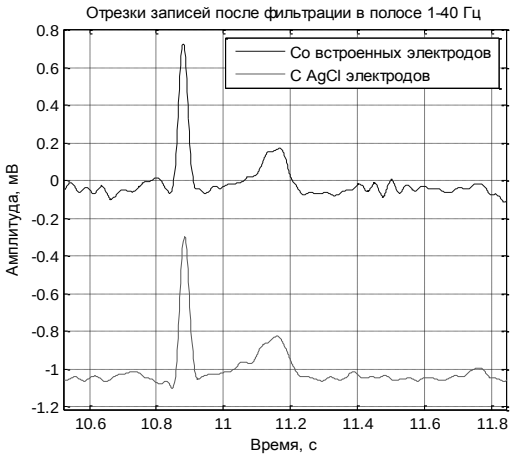

Рисунок 4 – Сравнение формы записей, полученных с помощью встроенных металлических (вверха) и стандартных хлорсеребряных электродов (внизу)

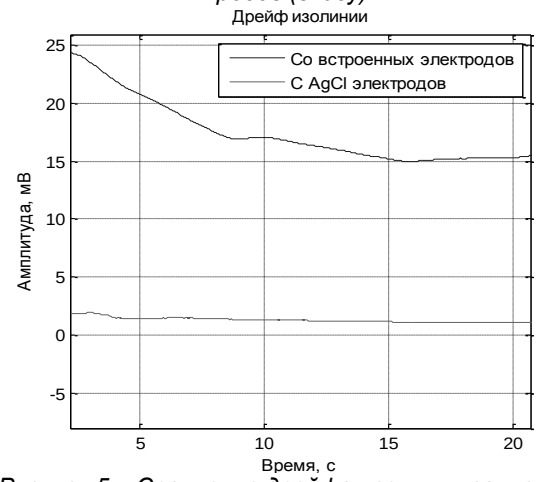

Рисунок 5 – Сравнение дрейфа изолинии записей, полученных с помощью встроенных металлических (вверха) и стандартных хлорсеребряных электродов (внизу)

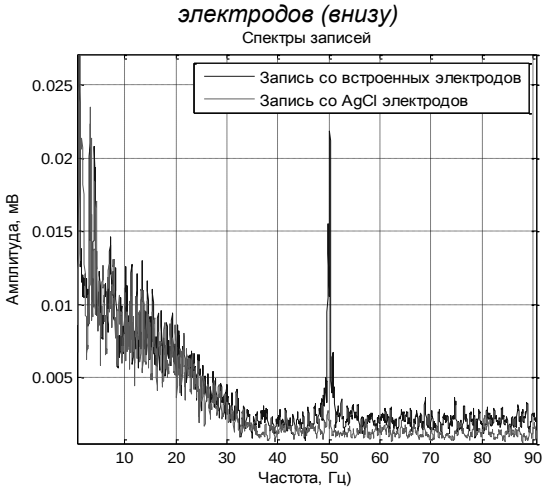

Рисунок 6 – Сравнение спектров сигналов, полученных с помощью встроенных металлических (темный спектр) и стандартных хлорсеребряных электродов (светлый спектр)

3. Встроенные электроды гораздо более чувствительны к сетевым помехам с частотой 50 Гц, что объясняется худшим контактом с кожей и, соответственно, более высоким сопротивлением кожно-электродного перехода; данный эффект также легко компенсируется с помощью обработки сигнала.

Исследования показали, что встроенные электроды вполне пригодны для ЭКГ диагностики и позволяют получить сравнимое качество сигнала. Одним из основных их недостатков является непостоянство кожно-электродного сопротивления, что усложняет процедуру регистрации и вносит существенные искажения. На данный момент предполагается устранить данный эффект путем мониторинга импеданса измерительной цепи и соответствующей адаптивной фильтрации, что будет представлено в последующих работах.

Разработка грудного модуля

Для возможности диагностики прибором таких важных заболеваний, как ишемическая болезнь сердца и инфаркт миокарда, разрабатывается модуль грудных отведений. Модуль представляет собой прибор для измерения грудных отведений ЭКГ и передачи их на основной модуль карманного кардиографа для хранения или отправки врачу. Измерительная схема модуля подобна схеме основного прибора и подразумевает применение специализированных интегральных схем и сухих металлических электродов с последующим переходом на бесконтактные измерения с емкостными электродами.

Ключевым вопросом при разработке модуля стал выбор количества отведений. Широко известно, что стандартная система 12 отведений является избыточной и может быть существенно сокращена [4]. Так, в системах Франка в ЭКГ высокого разрешения и Неба в Холтеровском мониторировании используются всего три отведения. Причем, в системе Неба количество отведений может быть сокращено до двух в случае диагностики известной патологии. В случае диагностики некроза место отмирания ткани можно определить по всего одному отведению, т.к. ЭКГ, снятая над областью некроза, практически не регистрируется, что и является диагностическим признаком [5].

Минимальное количество одновременно регистрируемых отведений (а, следовательно, и электродов) определяется целями диагностики. В разрабатываемом приборе конечной целью является наблюдение пациентов с

уже установленным диагнозом. Для такой диагностики может быть вполне достаточно последовательной регистрации 2-3 отведений с помощью одноканального прибора.

При этом встает вопрос методики измерения. Должен ли пользователь измерять всегда одно отведение? Или должен регистрировать разные, сообщая врачу способ наложения? Для ответа на эти вопросы, прежде всего, необходимо иметь систематичное представление о диагностических признаках ЭКГ в разных отведениях.

Несмотря на то, что в электрокардиографии существуют подробные методики для выявления сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), квалифицированная диагностика требует специального образования и опыта, что недоступно обычному человеку. Для облегчения практического применения информация по расшифровке ЭКГ была систематизирована и представлена в виде диагностических карт, дающих представление о необходимости регистрации тех или иных отведений (таблица 3).

Таблица 3 - Пример диагностической карты для диагноза "Инфаркт миокарда передней стенки левого желудочка"

Локализация инфаркта	отрицательный зубец T						подъем сегмента RS-T						патологический зубец Q						уменьшение амплитуды зубца R					
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Инфаркт миокарда передней стенки левого желудочка																								
перегородочный	■	■	■				■	■	■				■	■	■				■	■	■			
передневерхушечный	■	■	■	■			■	■	■	■			■	■	■	■			■	■	■	■		
переднебоковой																	■	■					■	■
передний	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Другим ключевым вопросом является эффективность измерения ЭКГ по одному отведению. Пациент может сделать несколько записей в разных проекциях, но это не будут одновременно измеряемые каналы, что не позволит применить к ним стандартные методы диагностики.

Данные вопросы в настоящее время исследуются в рамках совместного проекта с НИИ Кардиологии Сибирского отделения РАМН и будут отражены в будущих работах.

Заключение

Активное развитие направлений телемедицины и, в частности, теле-ЭКГ позволяет осуществлять более качественную, чем раньше, диагностику пациентов. Однако, существующие инструментальные средства для таких измерений не полностью отвечают актуальным задачам кардиологии. В рамках работы авторы предлагают подход к решению данной проблемы. Уже разработан собственный карманный электрокардиограф и ведутся работы по созданию грудного модуля для диагностики ишемии и исследования по разработке метода диагностики с применением такого модуля. Исследования проводятся совместно с НИИ Кардиологии Сибирского отделения РАМН. Созданный карманный электрокардиограф полностью отвечает требованиям для электрокардиографов и обеспечивает качество записи, достаточное для проведения диагностики. Дальнейшие результаты будут оформлены в будущих статьях.

Проект поддержан грантом Президента РФ для государственной поддержки молодых ученых (конкурс МК-2014) «Разработка и исследования емкостных электродов для бесконтактной диагностики и методики их применения для электрокардиографии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Концепция построения и развития телемедицинской сети РФ. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://www.inforegion.ru/ru/main/ medicine/telemed/telemed_concept/, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус.
2. РФФИ (версия 2007 года). Телемедицина: обзор современного состояния и перспективы развития в России. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://w3.rfbr.ru/default.asp? section_id=0, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус.
3. Уваров, А.А. Применение средства телекоммуникации в медицинских системах исследования сердца [Текст] /А.А. Уваров, [и др.] // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – с. 238-242
4. Мурашко, В.В. Электрокардиография: [Текст] : Учебн. пособие. / В.В. Мурашко, А.В. Стру-

тынский. – М.: МЕДпресс-информ, 2001. – 312 с.
5. Зудбинов, Ю.И. Азбука ЭКГ [Текст] / Ю.И. удбинов. – Ростов-на-Дону:изд-во«Феникс». – 2003. – 160с.

*Аспирант **А.А. Уваров, UAA@tpu.ru**; к.т.н., доцент **И.А. Лежнина**– inna84-08@mail.ru; магистрант **К.В. Оверчук**, kirill_ovk@mail.ru; магистрант **А.С. Старчак**, ambebap@gmail.com; магистрант **А.А. Порхунов**, arti92_uk@mail.ru -Национальный исследовательский Томский политехнический университет, кафедра информационно-измерительной техники, (382-2)41-81-48.*

УДК 534 (0.45)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ АМПЛИТУДЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ИЗЛУЧАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В.Н. Хмелев, С.Н. Цыганок, С.В. Левин, М.В. Демьяненко, В.А. Шакура

Статья посвящена разработке и исследованию пьезоэлектрического приемного преобразователя с точечным (игольчатым) контактом, предназначенного для контроля амплитуды механических колебаний и ее распределения на излучающей поверхности ультразвуковых колебательных систем. Проведены измерения амплитуды и ее распределения у рабочего инструмента колебательной системы ультразвукового технологического аппарата, предназначенного для кавитационного воздействия на дисперсные системы с жидкой фазой.

Ключевые слова: ультразвуковые колебания, пьезоэлектрический преобразователь, измерение амплитуды

Введение

Амплитуда механических колебаний и ее распределение на излучающей поверхности источника ультразвукового излучения (ультразвуковой колебательной системы) является важнейшим параметром, характеризующим эффективность акустического воздействия. Амплитуда колебаний излучающих поверхностей определяет, с одной стороны, возможность и эффективность реализации тех или иных технологических процессов, а, с другой стороны, возможность и длительность практического применения элементов ультразвуковой колебательной системы, подвергаемых усталостному и кавитационному разрушению.

Поэтому контроль амплитуды колебаний излучающих поверхностей необходим при проектировании, настройке, проверке и ремонте ультразвуковых колебательных систем, а так же при практическом применении технологических аппаратов.

Для реализации контроля амплитуды механических колебаний и ее распределения на излучающей поверхности источника ультразвукового излучения применяются пьезоэлектрические приемные преобразователи с сухим точечным (игольчатым) контактом [1]. Их конструктивные особенности – передача колебаний через игольчатый волновод на пьезоэлектрический элемент – позволяют проводить контроль на поверхностях, колеблющихся с амплитудой не более 5-10 мкм. При ее превышении происходит механическое разрушение пьезопреобразователя.

Поскольку в практике современного применения ультразвуковых аппаратов требуются воздействия с амплитудой более 10-30 мкм (что соответствует интенсивностям излучения в водных средах от 5 до 15 Вт/см^2, обеспечивающим протекание кавитационных процессов) возникает необходимость в проектировании, разработке и создании пьезоэлектрических приемных преобразователей, способных контролировать амплитуду механических колебаний ультразвуковой частоты до 30 мкм в диапазоне от 10 кГц до 100 кГц в любой точке излучающей поверхности.

Разработка преобразователя

Для решения поставленной задачи в малом инновационном предприятии ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ» был предложен и разработан пьезоэлектрический приемный преобразователь с точечным контактом для контроля амплитуды колебаний, конструкция которого приведена на рисунке 1.