

**АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАРМАННОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
(THE HARDWARE DESIGN OF HAND-HELD ELECTROCARDIOGRAPH
FOR PERSONAL USE)**

А.С. Старчак, И.А. Лежнина, А.А. Уваров, А.А. Порхунов
A. Starchak, I. Lezhnina, A. Uvarov, A. Porhunov

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: Dj-Tomek@mail.ru

Рассмотрена аппаратная часть портативного электрокардиографа. Представлены результаты экспериментального применения прибора.
(Examined the internal architecture of the device hardware. The results of experimental application of the device.)

Ключевые слова:

Портативный, электрокардиограф, ЭКГ, телемедицина, аппаратное обеспечение.
(Portable, electrocardiograph, ECG, telemedicine, hardware)

Сегодня системы телемедицины активно входят в повседневную практику и рассматриваются, как один из перспективных и, возможно, основных способов оказания услуг по ЭКГ диагностике в будущем. Более того, актуальной проблемой на данный момент становится создание систем домашней диагностики, что должно существенно повысить качество сопровождения пациентов с установленными диагнозами.

Из опыта общения с медицинским персоналом можно отметить положительную реакцию и заинтересованность лечащих врачей во внедрении таких систем.

Эта заинтересованность обусловлена в первую очередь тем, что сердечно-сосудистые заболевания, являясь самыми распространенными и социально значимыми заболеваниями во всем мире. В структуре летальности внезапная сердечная смерть занимает первое место и составляет более 50 % от общего числа летальных исходов [1]. При этом распространенность кардиологических заболеваний, вызывающих фатальные нарушения ритма, но часто протекающих бессимптомно, колеблется от 1:500 до 1:2500 человек; многие из них имеют наследственный характер[2]. Все эти факты свидетельствуют о необходимости применения надежных и удобных систем для наблюдения за состоянием пациента. Эту проблему решает электрокардиография, наиболее эффективный и совершенный метод исследования сердечно-сосудистых заболеваний.

Не смотря на это, ЭКГ имеет и свои слабые стороны. Основным недостатком электрокардиографии является её низкая доступность, так как приходится регулярно посещать поликлинику, что является проблематичным учитывая количество больных.

Все электрокардиографы индивидуального применения можно разделить на две категории: домашние и портативные или «карманные»

Домашние электрокардиографы представляют собой ориентированные на частного пользователя приборы с упрощенной структурой и низкой ценой. Они не имеют собственных органов управления 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.

В отличие от домашних, карманные электрокардиографы представляют собой законченные устройства, часто снабжаются экраном и позволяют получить приблизительный анализ сразу после измерения, а также, при желании, отправить запись на более подробную расшиф-

ровку. В этих приборах отсутствуют провода, а измерение производится по «урезанной» системе отведений с помощью встроенных в корпус электродов.

Ключевое преимущество карманных электрокардиографов — портативность и возможность получить диагноз где угодно и когда угодно, ценой уменьшения диагностической ценности.

Наша идея состоит в том, чтобы разработать прибор, совмещающий оба подхода, т.е. карманный кардиограф с функцией регистрации грудных отведений, необходимых для диагностики ишемии. При этом регистрация грудных отведений должна происходить 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 карманного электрокардиографа для индивидуальной диагностики, который должен соответствовать следующим требованиям:

- удобство (процедура регистрации ЭКГ должна быть простой, проводиться без снятия одежды и не требовать других подготовительных мероприятий);
- надежность (пользователю должна быть предоставлена только интегральная, но достоверная информация о его текущем функциональном состоянии, которая может быть получена при упрощенной регистрации сигнала и не требует дополнительного визуального анализа ЭКГ);
- информативность (возможность выявления скрытых признаков нарушений в работе сердца под влиянием физических и эмоциональных нагрузок, которые недооцениваются при традиционной ЭКГ-диагностике);
- оперативность (результат должен быть получен не более чем за 30 секунд.)
- наглядность (форма представления результатов должна быть понятна человеку, не имеющему специальной медицинской подготовки).

Для обеспечения вышеприведенных требований в приборе реализована упрощенная процедура регистрации ЭКГ первого стандартного отведения с пальцев и последующей обработкой сигнала в приборе и на ПК.



Рис. 1. Расположение электродов в корпусе

Для регистрации ЭКГ в первом отведении достаточно прикоснуться пальцами правой и левой рук к электродам, расположенным на передней панели и верхней части прибора (рисунок 1). Это позволяет производить оперативную оценку функционального состояния сердечно-сосудистой системы человека и выявления начальных признаков изменений в работе сердца под действием физических и эмоциональных нагрузок.

Так же 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.

Прибор обеспечивает:

- регистрацию ЭКГ с пальцев рук;
- отображение ЭКГ в реальном времени на экране;
- сохранение информации на *SD* карте;
- считывание результатов и автоматическая обработка с *SD* карты на ПК;
- определение значений диагностических показателей;
- накопление данных для последующих консультаций с врачом.

Обобщенная структурная схема прибора показана на рисунке 2.

Одной из особенностей прибора является применение специализированной интегральной схемы для электрокардиографии *ADS1292* фирмы *Texas Instruments*. Применение схемы позволяет сократить количество компонентов на плате и при этом добавить в прибор целый ряд дополнительных функций таких, как самотестирование, измерение кожно-электродного импеданса, автоматическое обнаружение обрыва измерительной цепи.

Измерительная схема полностью соответствует всем требованиям, 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:

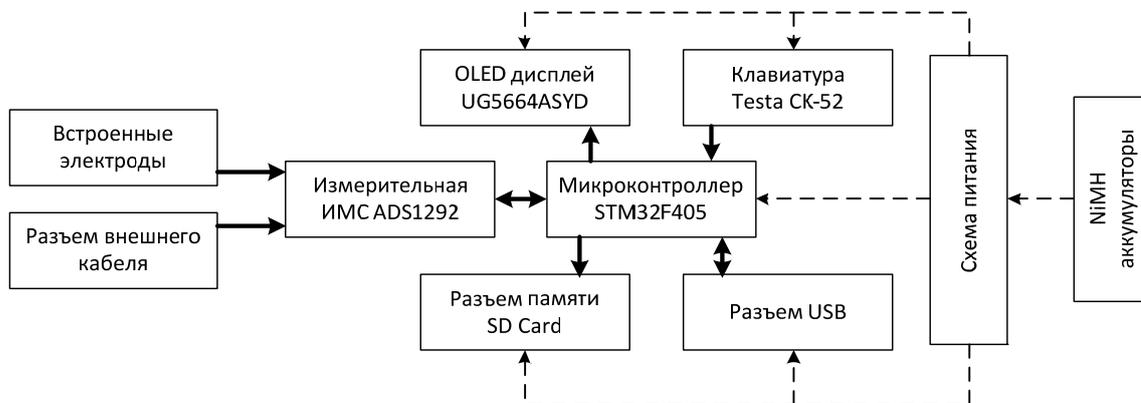


Рис. 2. Структурная схема

В качестве микроконтроллера применяется STM32F405, высокопроизводительный 32-х разрядный микроконтроллер на базе ядра Cortex-M4F. Прибор снабжен дисплеем Wisechip UG5664, это монохромный самосветящийся OLED дисплей, с низким начальным напряжением питания и энергосберегающими технологиями.

Электроды в приборе служат пластинки из фольгированного стеклотекстолита FR-4 с лужением ПОС-63, что обеспечивает приемлемый контакт и чувствительность. В дальнейшем планируется проведение исследований по сравнению материалов покрытия электродов, которые позволят судить, какое из покрытий наилучшим образом подходит для снятия ЭКГ с пальцев и обеспечивает наилучшее качество сигнала.

На рисунке 3 показан пример записи, полученной с помощью разработанного прибора. Полученных данных, достаточно для простейшего анализа сердечных отклонений в нарушении ритма.

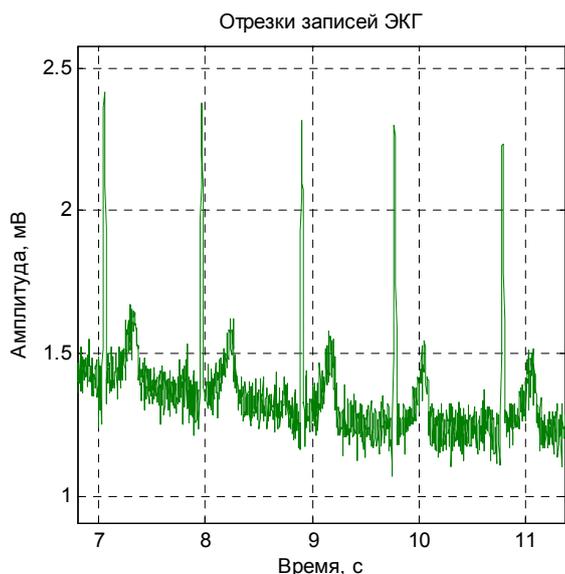


Рис. 3. Запись ЭКГ, сделанная прибором

На рисунках представленных ниже 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 анализа ЭКГ в стандартных клинических применениях (рисунок 4);
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 5);
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 (рисунок 6).

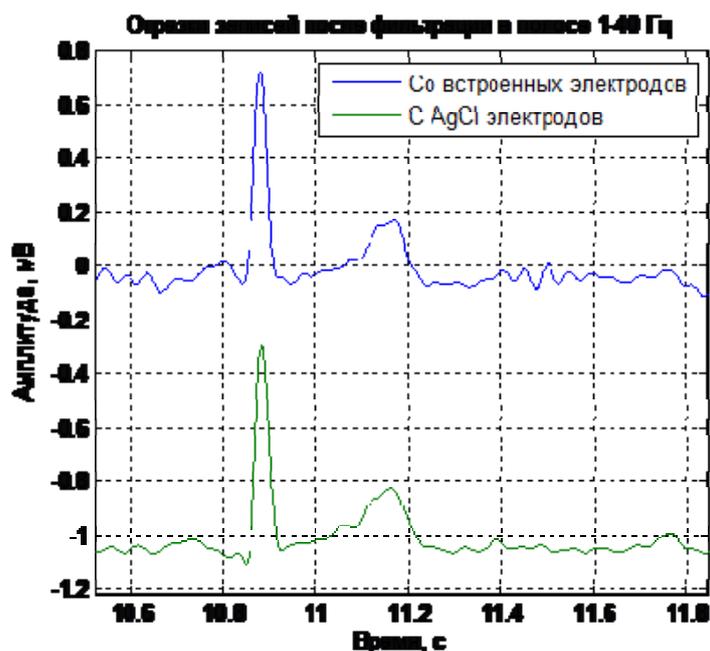


Рис. 4. Сравнение формы записей, полученных с помощью встроенных металлических (вверху) и стандартных хлорсеребряных электродов (внизу)

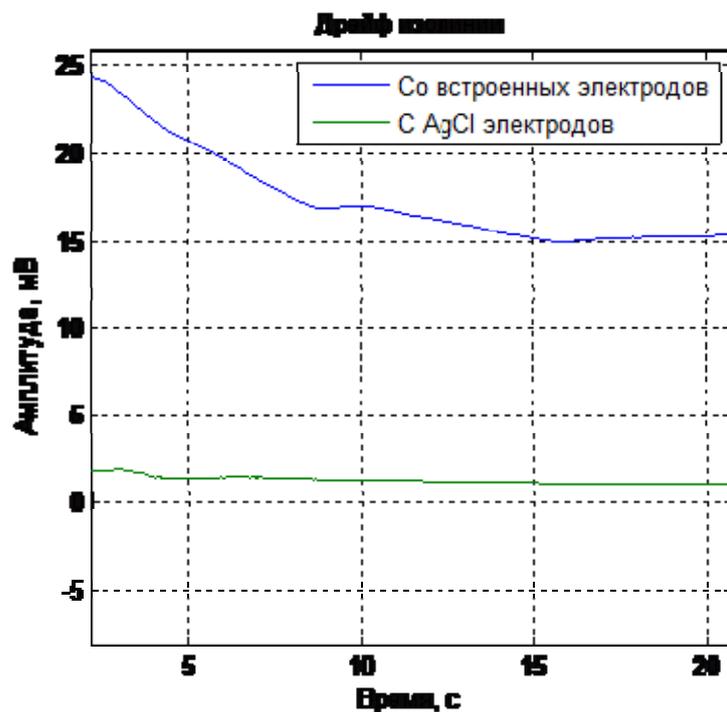


Рис. 5. Сравнение дрейфа изолинии записей, полученных с помощью встроенных металлических (вверху) и стандартных хлорсеребряных электродов (внизу)

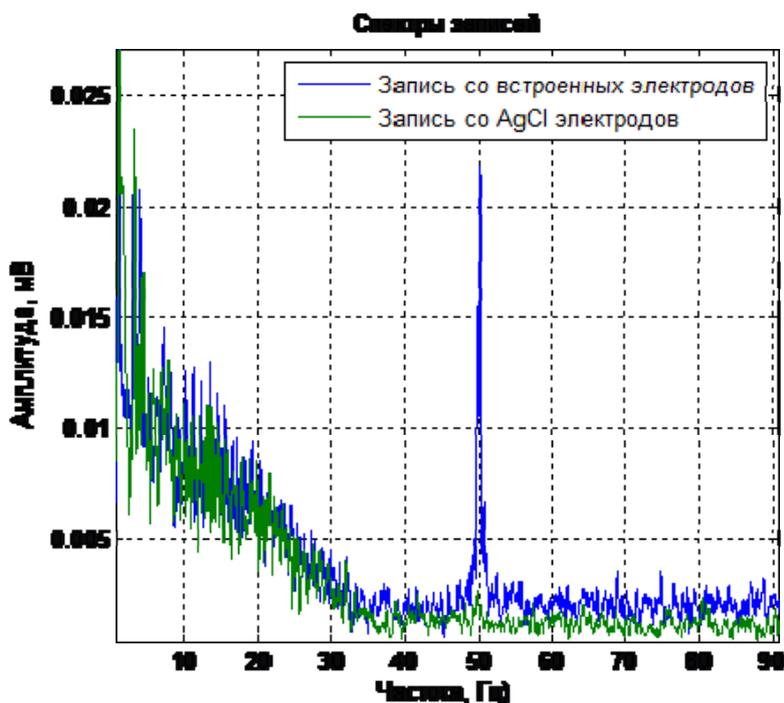


Рис. 6. Сравнение спектров сигналов, полученных с помощью встроенных металлических (темный спектр) и стандартных хлорсеребряных электродов (светлый спектр)

Таким образом 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.

Упрощенный метод регистрации ЭКГ только от одного отведения, не может служить основой стандартного ЭКГ-вывода, но в то же время даже такая ограниченная информация позволяет судить о функциональном состоянии сердечной деятельности и с определенной степенью достоверности определять начальные признаки нарушений в работе сердца.

Такой подход к диагностике, когда пациент сам накапливает информацию, а затем врач её интерпретирует, позволяет сделать более обоснованные выводы о состоянии сердечно-сосудистой системы, чем эпизодический контакт пациента с врачом. К тому же это существенно уменьшает время необходимых обследований пациента в стационарных условиях и имеет положительные экономические последствия, как для пациента, так и для системы здравоохранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Estes N.A. 3rd. Predicting and preventing suddencardiacdeath // Circulation. – 2011. – Vol. 124, № 5. – P. 651–656.
2. Beckmann B.-M., Pfeufer A., Käb S. Inherited Cardiac Arrhythmias. Diagnosis, Treatment, and Prevention // DtschArztebl Int. – 2011. – Vol. 108, № 37. – P. 623–634.
3. Мурашко В.В. Струтынский А.В. «Электрокардиография», 2011. – 320 с.

Сведения об авторах:

Старчак А.С.: Томск, Томский политехнический университет, магистр 2 курса ИНК ИИТ, сфера научных интересов: информационные системы, микропроцессорные информационные системы. E-mail: Dj-Tomek@mail.ru

Лежнина И.А.: Томск, Томский политехнический университет, к.т.н., доцент кафедры информационно-измерительной техники, доцент каф.ИИТ ИНК, сфера научных интересов: исследование биоэлектрической активности сердца человека. E-mail: inna84-08@mail.ru.

Уваров А.А.: Томск, Томский политехнический университет, аспирант ИНК ФГБОУ НИ ТПУ, сфера научных интересов: автоматический анализ электрофизиологических данных. E-mail: uaa@tpu.ru.

Порхунов А.А.: Томск, Томский политехнический университет, магистр 1 курса ИНК ИИТ, сфера научных интересов: информационные системы, микропроцессорные информационные системы. E-mail: arti92_uk@mail.ru