

УДК 615.471:616-073.97

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ И МЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФОВ НА НАНОЭЛЕКТРОДАХ

Авдеева Д.К., Демьянов С.В., Максимов И.В.,
Лежнина И.А., Садовников Ю.Г.

ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия, e-mail: medpribor@introscopy.tpu.ru,
НИИ кардиологии Томского филиала СО АМН РФ, Томск, Россия,
e-mail: niv@cardio.tsu.ru

Представлены описания структур электрокардиографов для исследования сердечно-сосудистой системы человека, созданных на базе медицинских нанозлектродов. Проведены предварительные технические и медицинские исследования электрокардиографов. Показано по результатам исследований, что разработанные электрокардиографы осуществляют высококачественную регистрацию электрокардиограммы без фильтров во входной измерительной цепи в полосе от 0 Гц до 100 Гц, уровень шума составляет ± 1 мкВ, который определяется шумами измерительной аппаратуры, нанозлектроды практически не вносят шумовой составляющей в результирующий уровень шума.

Ключевые слова: электрокардиограф, медицинские нанозлектроды, фильтр заграждающий, фильтры, полоса частот, электрокардиограмма, уровень шума

В [1, 2] нами описан электрокардиограф и нанозлектроды для исследования сердца по Холтеру. Для регистрации электрокардиограммы по методу Холтера в I, II и III отведениях разработаны два одноканальных и один трехканальный электрокардиографы на нанозлектродах.

Блок-схемы электрокардиографов представлены на рис. 1 а, б.

В электрокардиографах используется сигма-дельта АЦП AD7731, входные токи которого равны (30-40) нА.

Диапазон входного сигнала АЦП задается центральным процессором и может составлять ± 20 мВ, ± 40 мВ, ± 80 мВ, ± 160 мВ, ± 320 мВ, ± 640 мВ и $\pm 1,28$ В. В спроектированных электрокардиографах используется диапазон ± 20 мВ. АЦП производит выборку сигнала с частотой $F = 200/500/1000/2000$ Гц, который выводится на экран монитора через USB-порт или записывается на встроенную флеш-

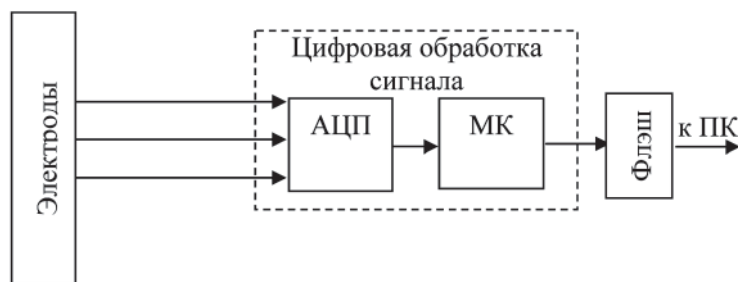
память MMC mobile объемом 2 Гб. Электрокардиограф имеет часы реального времени DS1302, позволяющие задать начальное и конечное время регистрации сигнала.

При 16-битном кодировании шаг квантования равен

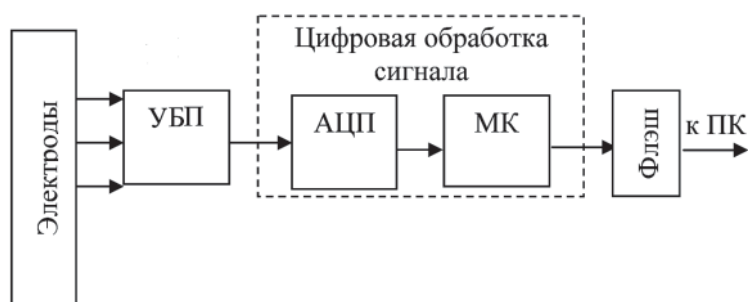
$$\Delta U_{\text{кв}} = \frac{U_{\text{max}}}{2^{15}} = \frac{20 \cdot 10^3}{32768} = 0,61035 \text{ мкВ.}$$

Для управления используется маломощный 8-разрядный AVR-микроконтроллер Atmega128. За счет выполнения большинства инструкций за один машинный цикл Atmega128 достигает производительности 1 млн. операций в секунду/МГц, что позволяет проектировщикам систем оптимизировать соотношение энергопотребления и быстродействия.

Разработанные электрокардиографы позволяют также снимать электрокардиограмму с грудной клетки по Небу и по системе «руки-ноги» (I, II, III отведения).



а



б

Рис. 1. Структурные схемы одноканальных электрокардиографов:

УБП — усилитель биопотенциалов; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; МК — микроконтроллер; ПК — персональный компьютер; а — без УБП; б — с УБП

На рис 2 а, б представлены записи электрокардиограммы с грудной клетки по Небу в покое при токе ≤ 1 нА. Измерительный канал имеет полосу пропускания от 0 до 100 Гц и не имеет фильтра высоких частот, ограничивающего ЭКГ-сигнал со стороны низких частот и заграждающего сетевого фильтра 50 Гц.

На рис. 2 а представлена запись электрокардиограммы с грудной клетки по Небу с помощью нанoeлектродов ЭСМГ-1/н2 (электроды слабополяризующиеся с кнопочным отведением). Нанoeлектроды ЭСМГ-1/н2 имеют рабочую поверхность, контактирующую с телом человека, диаметром 10 мм.

На рис. 2 б представлена запись электрокардиограммы с грудной клетки по Небу с помощью нанoeлектродов ЭСМГ-1/н1 с диаметром рабочей поверхности 5 мм.

На рис. 3 представлена запись фрагмента электрокардиограммы, рис. 2б, при максимальной чувствительности 1:1.

Параметры электрокардиографов настроены таким образом, чтобы сохранить одинаковую разрешающую способность без усилителя биопотенциалов и при наличии усилителя биопотенциалов, а именно шаг квантования с усилителем и без усилителя биопотенциалов равен:

$$\Delta U_{\text{кв}} = 0,61035 \text{ мкВ.}$$



а



б

Рис. 2. Записи электрокардиограммы с грудной клетки по Небу:
а – с помощью наноэлектродов ЭСМГ-1/н2, диаметром 10 мм;
б – с помощью наноэлектродов ЭСМГ-1/н1, диаметром 5 мм

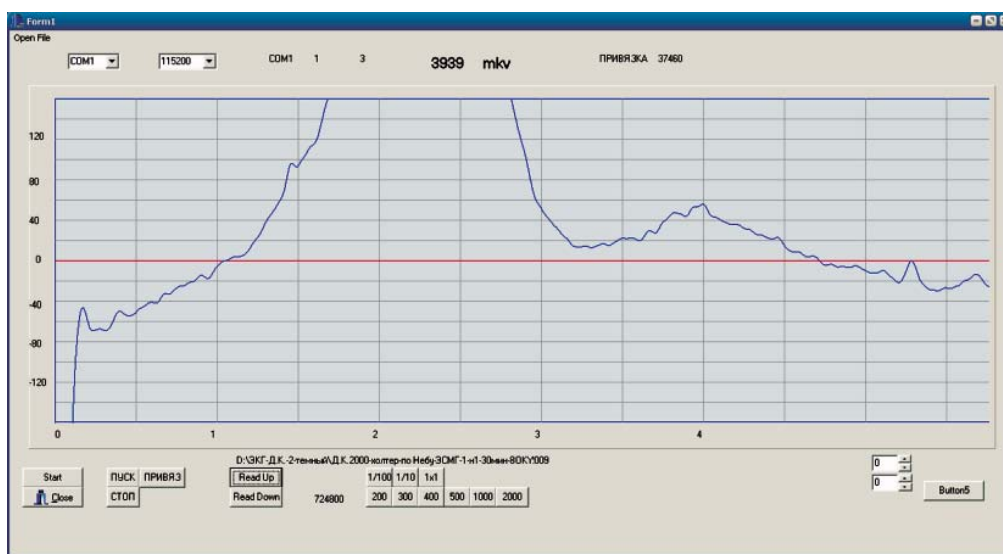


Рис. 3. Фрагмент электрокардиограммы с грудной клетки при максимальной чувствительности 1:1, снятой с помощью нанозлектродов ЭСМГ-1/н1

На рис. 4 а,б представлены записи электрокардиограмм при входных токах (30-40) нА без УБП.

Сравнение качества зарегистрированных электрокардиограмм при входных токах электрокардиографов (30-40) нА и ≤ 1 нА подтверждает высокую стабильность электродного потенциала нанозлектродов при длительном воздействии постоянным током и отсутствие ЭДС поляризации.

Каждый канал трехканального электрокардиографа выполнен по схеме одноканального электрокардиографа с биоусилителем.

Технические параметры каждого канала также соответствуют техническим параметрам одноканальных электрокардиографов.

Записи электрокардиограмм, полученных на трехканальном электрокардиографе, представлены на рис. 5 а, б, I, II, III отведения от конечностей.

Проведены исследования амплитудно-частотных характеристик электрокардиографов. При частоте дискретизации

2000 Гц полоса пропускания электрокардиографа равна 0-100 Гц, т.е. сетевая помеха присутствует в полосе пропускания.

Исходя из результатов регистрации электрокардиограммы (рис. 3-5), можно сделать вывод, что сетевая помеха в полосе 0-100 Гц при частоте квантования 2000 Гц не регистрируется, несмотря на то, что в схеме прибора отсутствует заграждающий фильтр.

Спроектированная электрокардиографическая аппаратура позволяет без искажений снять истинную биоэлектрическую активность сердца человека на поверхности тела человека в полосе от 0 до 100 Гц при частоте дискретизации 2000 Гц (по Котельникову В.А. – до 1000 Гц).

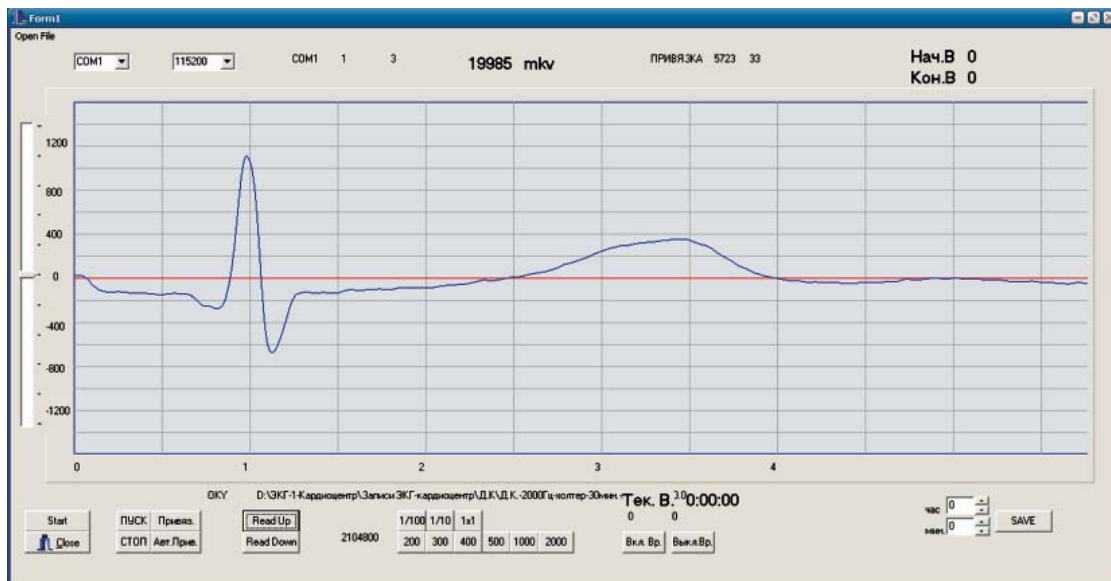
В результате предварительных технических исследований разработанных электрокардиографов получены следующие технические характеристики:

диапазон входных напряжений – от $\pm 0,002$ мВ до ± 20 мВ (по ГОСТ 19687-89 от 0,03 мВ до 5 мВ);

уровень внутренних шумов от пика до пика – от -1 мкВ до $+1$ мкВ;



а

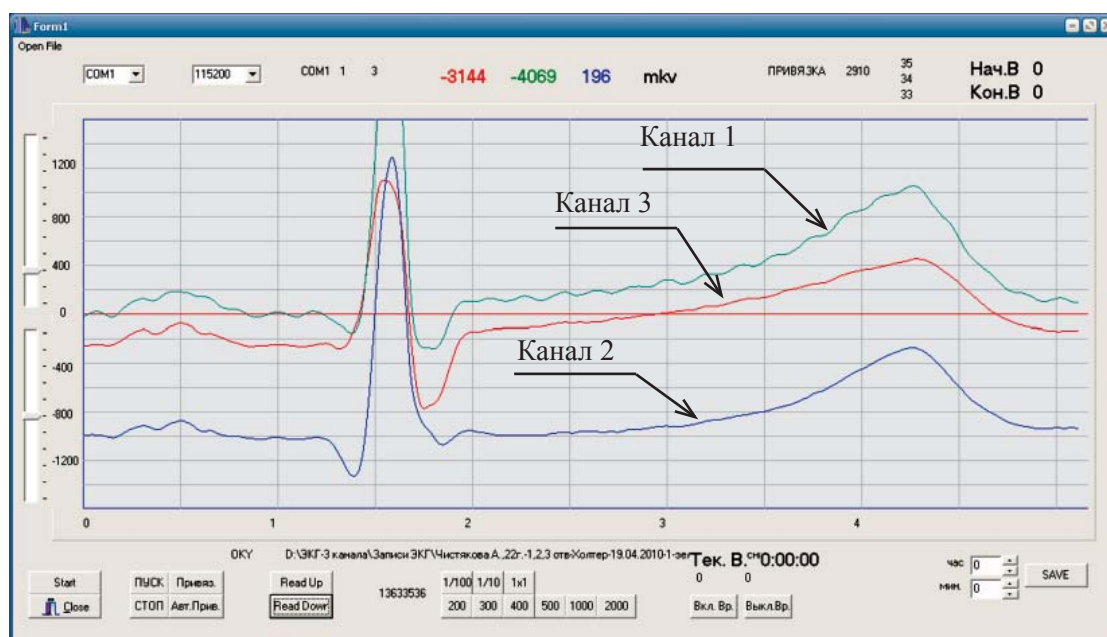


б

Рис. 4. Записи электрокардиограмм при входных токах (30-40) на без усилителя биопотенциалов



а



б

Рис. 5. Записи электрокардиограмм, полученных на 3-канальном электрокардиографе

диапазон частот – (0-20)/(0-40)/(0-75)/(0-100) Гц;

частота квантования – 200/500/1000/2000 Гц;

число каналов – 1 и 3;

число электродов – 3 и 7;

запись на флэш с объемом памяти 2 Гб;

часы реального времени;

питание от аккумуляторных батарей.

Предварительные медицинские исследования были проведены в Томском НИИ кардиологии. Всего было исследовано 19 пациентов с различными патологиями сердечно-сосудистой системы и 10 человек – норма.

На основании проведенных медицинских исследований показано, что разработанные на базе нанoelectродов структуры электрокардиографов для исследования сердца по Холтеру имеют:

1) повышенную разрешающую способность;

2) не содержат фильтрующих элементов в измерительной цепи;

3) позволяют регистрировать без искажений фильтрами истинную биоэлектрическую активность сердца на поверхности тела человека в области частот от 0 Гц до 100 Гц;

4) диапазон измерения – от ± 2 мкВ до ± 20 мВ;

5) уровень шума от -1 мкВ до $+1$ мкВ, значение которого определяется шумами измерительной аппаратуры, нанoelectроды практически не вносят шумовой составляющей в результирующий уровень шума [3].

Данная разработка выполнена по проекту Рособразования № 2.2.3.3/3111 «Разработка средств диагностики и экспресс-методов, основанных на применении медицинских нанoelectродов, для оценки физического и психоэмоционального состояния здоровья обучающихся» аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)».

Список литературы

1. Авдеева Д.К., Клубович И.А. Электрокардиограф на нанoelectродах // Успехи современного естествознания. – 2009. – №11. – С. 96-98.

2. Avdeeva D.K., Klubovich I.A. Results of Experimental Researches of Nanoelectrodes metrological Characteristics for Measurement of Electric Fields of the ground and biopotentials of the person // 10-th European Conference on Non-Destructive Testing: Abstracts – Moscow, 7-11 June 2010. – Moscow: SPEKTR, 2010. – Т. 2. – С. 306-308 (84140893).

3. Avdeeva D.K., Vylegzhanin O.N., Grekhov I.S., Kazakov V.Y., Kim V.L., Klubovich I.A., Rybalka S.A., Sadovnikov Y.G., Yukhin Y.M. Experimental results of electric activity of «electronic-ionic conduction» junction // European journal of natural history. – 2009. – №2, ISSN 2073-4972. – P. 98.

Рецензенты:

Агафонников Виктор Филиппович, д.т.н., профессор кафедры конструирования узлов и деталей РЭС (КУДР) Томского университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР);

Светлаков Анатолий Антонович, д.т.н., профессор кафедры электронных средств автоматизации и управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

**RESULTS OF PRELIMINARY OF THE TECHNICAL
AND MEDICAL RESEARCHES
OF THE ELECTROCARDIOGRAPHS ON THE BASE
OF NANOELEKTRODES**

Avdeeva D.K., Demyanov S.V., Maximov I.V., Lezhnina I.A., Sadovnikov Y.G.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia,

e-mail: medpribor@introscopy.tpu.ru

*Institute of Cardiology, Tomsk, Siberian Branch of Russian Academy of Medical
Sciences, Tomsk, Russia, e-mail: miv@cardio.tsu.ru*

The descriptions of structures ECGs to study the cardiovascular system of man, created on the basis of medical nanoelektrodes. Preliminary technical and medical researches ECGs. Shown by results of studies that developed high-quality electrocardiograms exercise electrocardiography without filters in the input measurement circuit in a band from 0 Hz to 100 Hz, the noise level is $\pm 1 \mu\text{V}$, which is determined by noise measuring equipment, nanoelektrodes hardly make noise component in the resulting noise.

Keywords: electrocardiography, medical nanoelektrodes, band-stop filter, filters, frequency band electrocardiogram, the noise level