УДК 16.12-073.97-71

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРОВ НА СИГНАЛ ЭКГ В СИСТЕМЕ MATLAB

Авдеева Д.К.[1], Балохонова М.В., Демьянов С.В., Лежнина И.А.[1], Рыбалка С.А.[1], Уваров А.А.[1], Южаков М.М.[1]

[1]*ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия (634050, г. Томск, ул. Ленина, 30), medpribor@introscopy.tpu.ru*

Проведено моделирование влияния воздействия фильтров высокой частоты (ФВЧ) на реальный сигнал ЭКГ в системе MatLab, зарегистрированный без фильтров в полосе от 0 до 100 Гц при помощи специально разработанного электрокардиографа на наноэлектродах. Показано, что фильтры искажают форму ЭКГ и ее амплитудно-временные параметры, на основании которых осуществляется медперсоналом диагностика состояния сердечно-сосудистой системы человека.

Экспериментально доказано, что фильтры высокой частоты приводят к дополнительному смещению S-T комплекса на 30-40 мкВ. В результате такого смещения врачи-кардиологи получают параметр, который можно интерпретировать как ишемию миокарда (смещение 100 мкВ диагностируется как ишемическая болезнь сердца), хотя реальное смещение сигнала составляет порядка 70 мкВ.

Разработанный электрокардиограф на наноэлектродах позволяет измерить смещение ST-комплекса, составляющее единицы и десятки мкВ без искажения изоэлектрической линии сердца фильтром высокой частоты, что приведёт к повышению точности диагностики ишемической болезни сердца.

Ключевые слова: измерение биоэлектрических потенциалов, фильтрация, параметры ЭКГ сигнала, электрокардиографы на наноэлектродах.

MODELING OF FILTERS' INFLUENCE ON ECG SIGNAL IN MATLAB

D.K. Avdeeva[1], M.V. Balokhonova, S.V. Demyanov, I.A. Lezhnina[1], S.A. Rybalka[1], A.A. Uvarov[1], M.M. Yuzhakov[1]

[1] *National Research Tomsk Polytechnic University, Russia (634050, Tomsk, Lenina, 30), medpribor@introscopy.tpu.ru*

A simulation of the effect of high-pass filter (HPF) on the real ECG signal in the MatLab was performed. The signal was recorded without filters in the band DC to 100 Hz, using a specially designed electrocardiograph with nano-electrodes. It is shown that filters distort the shape of the ECG and its time-amplitude parameters, which are the basis for cardiovascular system diagnosis.

It is experimentally proved, that high-pass filters lead to an additional shift of ST complex equals 30-40 mV. As a result of this shift doctors use a parameter that could be interpreted as myocardial ischemia (100 mV offset is diagnosed as coronary heart disease), although the actual shift of the signal is about 70 mV.

Newly designed electrocardiograph with nanoelectrodes measures the displacement of ST-complex, amounting ones and tens of microvolts, without distortion of the isoelectric line by high-pass filter of the heart and thus leads to increasing of diagnostic accuracy of coronary heart disease.

Keywords: measurement of bioelectric potentials, filtration, ECG signal parameters, electrocardiograms at nanoelectrodes.

Целью исследования является оценка влияния фильтров высоких частот, смоделированных в системе MATLAB, на реальный сигал ЭКГ, зарегистрированный при помощи электрокардиографа на наноэлектродах в полосе частот от 0 до 100 Гц.

Фильтрация – это уже само по себе преднамеренное изменение исходного сигнала с целью выделить из него полезную информацию. Стандарт на электрокардиографы не регламентирует набор фильтров для электрокардиографа, а также их характеристики в конкретной модели приборов, следовательно, в различных электрокардиографах используются различные виды фильтров, которые будут по-разному влиять на сигнал ЭКГ. Именно различным влиянием фильтров на ЭКГ объясняется расхождение в показаниях

различных электрокардиографов.

На мировом и отечественном рынках присутствует большое разнообразие электрокардиографической техники. Электрокардиографы работают в узком диапазоне частот и имеют ограничения в области низких (от 0,05 Гц и выше) и высоких частот (20, 40, 75, 150, 250 Гц).

В [1; 3; 5] авторы подчеркивают важность вопросов, связанных с фильтрацией. Процесс регистрации ЭКГ сопровождается большим количеством разнообразных шумов и помех, накладывающихся на полезный сигнал ЭКГ.

В [1] приводится обзор основных видов помех, способы их устранения и побочные эффекты, накладываемые на ЭКГ (табл. 1). В таблице представлено влияние ФВЧ на ЭКГ при устранении дрейфа изолинии.

Таблица 1 – Влияние ФВЧ на ЭКГ при устранении дрейфа изолинии

Вид помех	**Способ устранения**	**«Побочные эффекты» на ЭКГ**
Дрейф изолинии	Фильтрация фильтром верхних частот	Уменьшение смещения сегмента ST
	Использование активных систем стабилизации изолинии (ADS)	Задержка до 0,5 с в выводе ЭКГ
	Использование качественных электродов, контактной среды	Нет

В Томском политехническом университете в лаборатории медицинского приборостроения разработаны медицинские наноэлектроды. На их основе создана электрокардиографическая аппаратура [2; 4].

Преимущества наноэлектродов:

- практически не поляризуются при токах до 0,5 мкА и имеют низкие контактные потенциалы;

- дрейф электродного потенциала при токе в 1 нА составляет не более 0,001 мкВ/с; при токе в 100 нА – не более 0,01 мкВ/с.

Обычные электроды под воздействием биоэлектрической активности мышц, возникающей в процессе жизнедеятельности человека, поляризуются. По этой причине либо применяют фильтры, ограничивающие сигналы в области низких частот, либо разрабатывают следящую систему на цифро-аналоговых преобразователях для компенсации постоянной составляющей биоэлектрической активности во входной цепи. Чаще всего идут

по пути ограничения полосы пропускания измерительной системы. Второй вариант применяют в приборах высокого разрешения, схема усложняется, содержит большее количество электронных компонентов, которые приводят к увеличению уровня базового шума и к снижению чувствительности. Постоянное напряжение на выходе ЦАПа в следящей системе создаёт постоянные токи, протекающие через электроды, поляризуя их.

Наноэлектроды позволили создать электрокардиограф без фильтров во входной измерительной цепи, который обеспечивает более точную диагностику, с меньшим количеством ошибок, возникающих при интерпретации искаженной фильтрами электрокардиограммы, получить технические характеристики ЭКГ-аппарата, превышающие характеристики дорогих ЭКГ-аппаратов, используемыех в кардиоцентрах и других медицинских учреждениях.

Разработаны макеты приборов (одноканальный и трехканальный), работающие в диапазонах 0–100 Гц. В данных приборах отсутствует заграждающий фильтр 50 Гц и ФВЧ.

Была проведена оценка влияния различных видов фильтров на сигнал ЭКГ. Для этого в системе MatLab была спроектирована схема (рис. 1), которая содержит два канала. Первый канал содержит ФВЧ типа Баттерворта 4-го порядка с частотой среза 0,05 Гц (Filter Highpass 0,05Hz). Второй канал содержит ФВЧ типа Баттерворта 4-го порядка с частотой среза 0,15 Гц (Filter Highpass 0,15Hz).

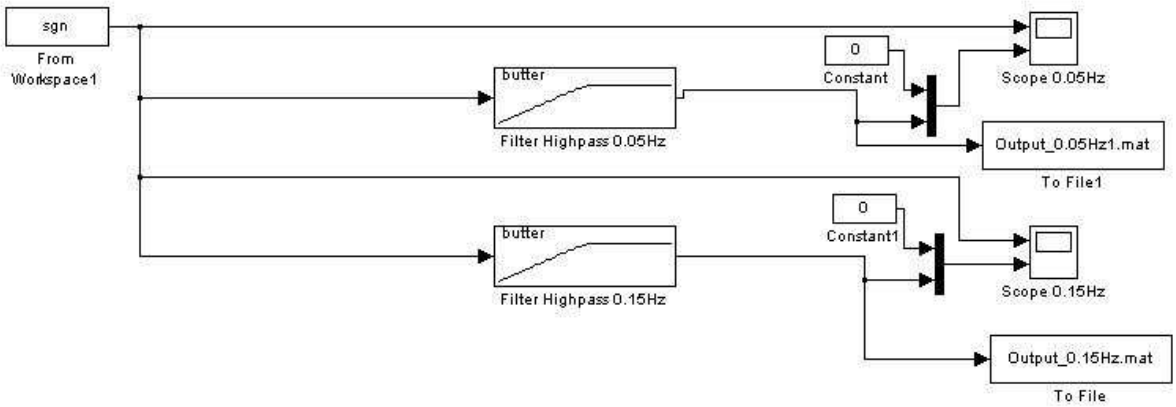


Рис. 1.

На выходе каждого канала установлен осциллограф (Scope), позволяющий графически увидеть влияние фильтров на сигнал ЭКГ в системе MatLab, а также блок (To File), позволяющий считывать и записывать данные с отфильтрованной ЭКГ для дальнейшего просмотра этих данных в программе «Исследование кардиосигналов» («Е-Кардио»). Программа «Е-Кардио» позволяет в более удобной форме просматривать ЭКГ, а также дает возможность сравнить спектры сигналов до и после фильтрации.

Для исследования влияния фильтра высокой частоты на электрокардиографический сигнал используются программы: MatLab, «Е-Кардио» и специально разработанная программа для конвертации файлов из одной программы в другую – ReadMAT.

Как запись, так и чтение фрагментов сигнала для пакета MatLab осуществляется в два этапа и при этом используются две программы: «Е-Кардио» и ReadMAT.

1. Запись. Сохранение файла в формате MatLab осуществляется в два приема:

a) читается файл формата .DAT и вырезается требуемый фрагмент сигнала;

b) вырезанный фрагмент сохраняется в файл формата .BINMAT;

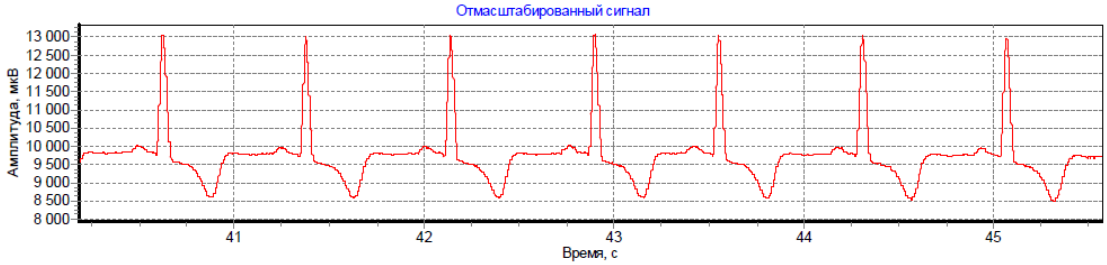
c) программой ReadMAT файл .BINMAT конвертируется в файл формата .MAT.

2. Чтение. Чтение и просмотр файла формата MatLab также выполняется в два приема:

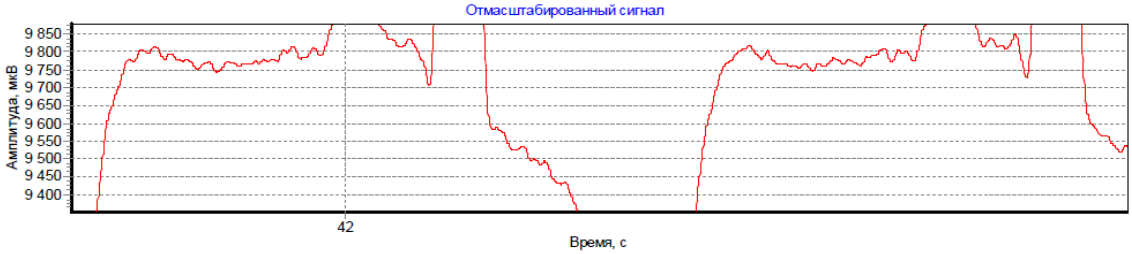
a) программой ReadMAT читается файл .MAT и конвертируется в формат .BINMAT;

b) файл .BINMAT читается программой Е-Кардио и отображается на странице «Вырезанный фрагмент».

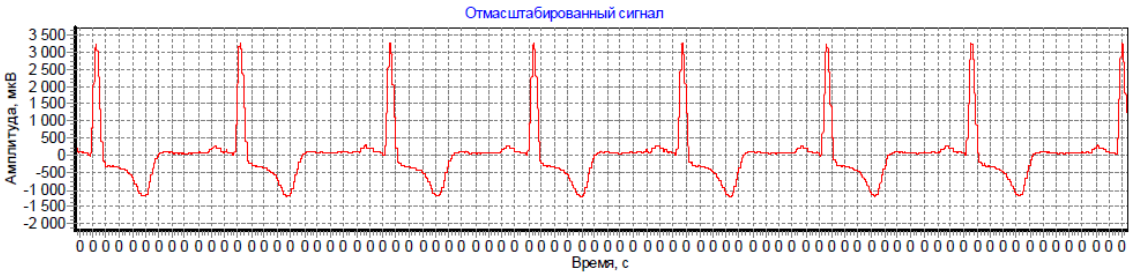
Результаты влияния фильтров на ЭКГ-сигнал в системе MatLab представлены на рис. 2–5.



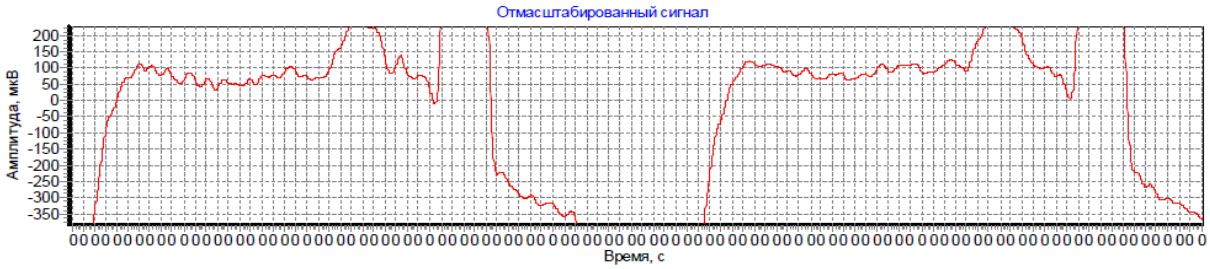
а) сигнал с патологией на входе канала с ФВЧ с частотой среза 0,05 Гц;



б) фрагмент сигнала с патологией на входе канала с ФВЧ с частотой среза 0,05 Гц;

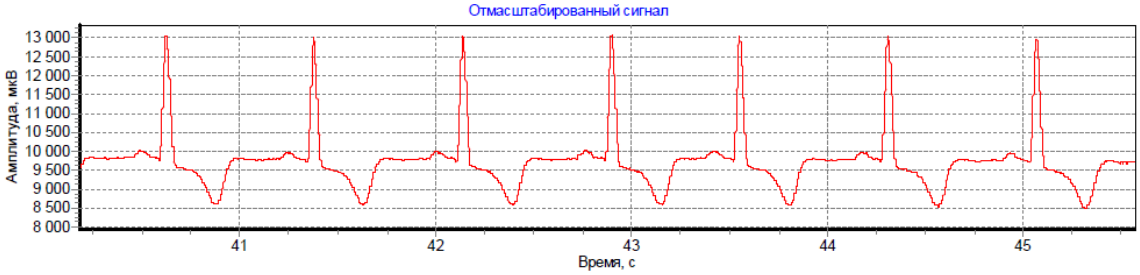


в) сигнал с патологией на выходе канала с ФВЧ с частотой среза 0,05 Гц;

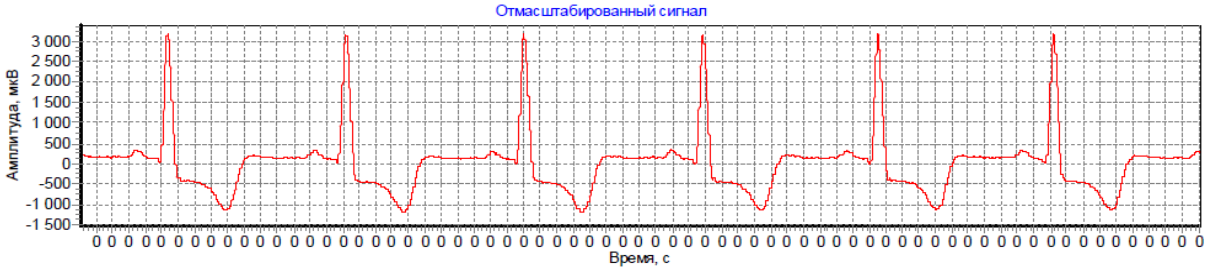


г) фрагмент сигнала с патологией на выходе канала с ФВЧ с частотой среза 0,05 Гц.

Рис. 2. Канал с ФВЧ с частотой среза 0,05 Гц.

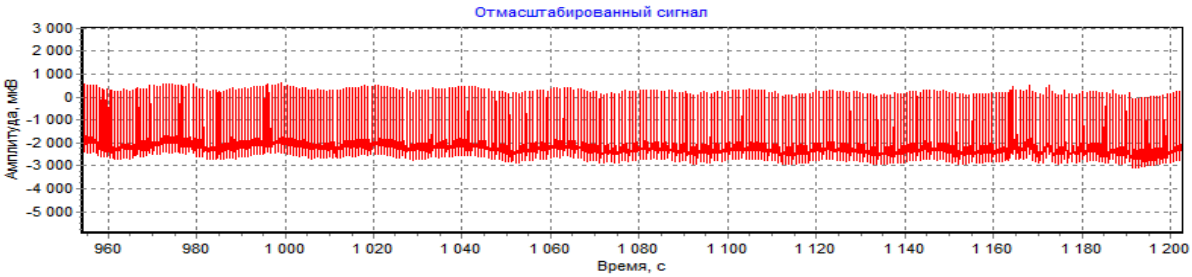


а) сигнал с патологией на входе канала с ФВЧ с частотой среза 0,15 Гц;



б) сигнал с патологией на выходе канала ФВЧ с частотой среза 0,15 Гц.

Рис. 3. Канал с ФВЧ с частотой среза 0,15 Гц.



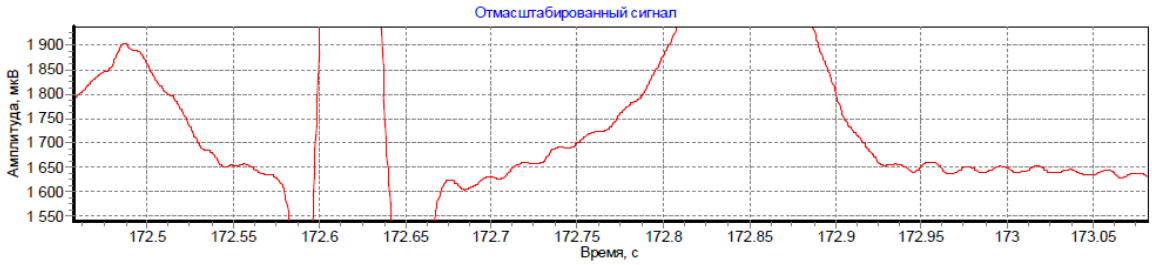


Рис. 4. Сигнал здорового человека на входе канала с фильтрами.

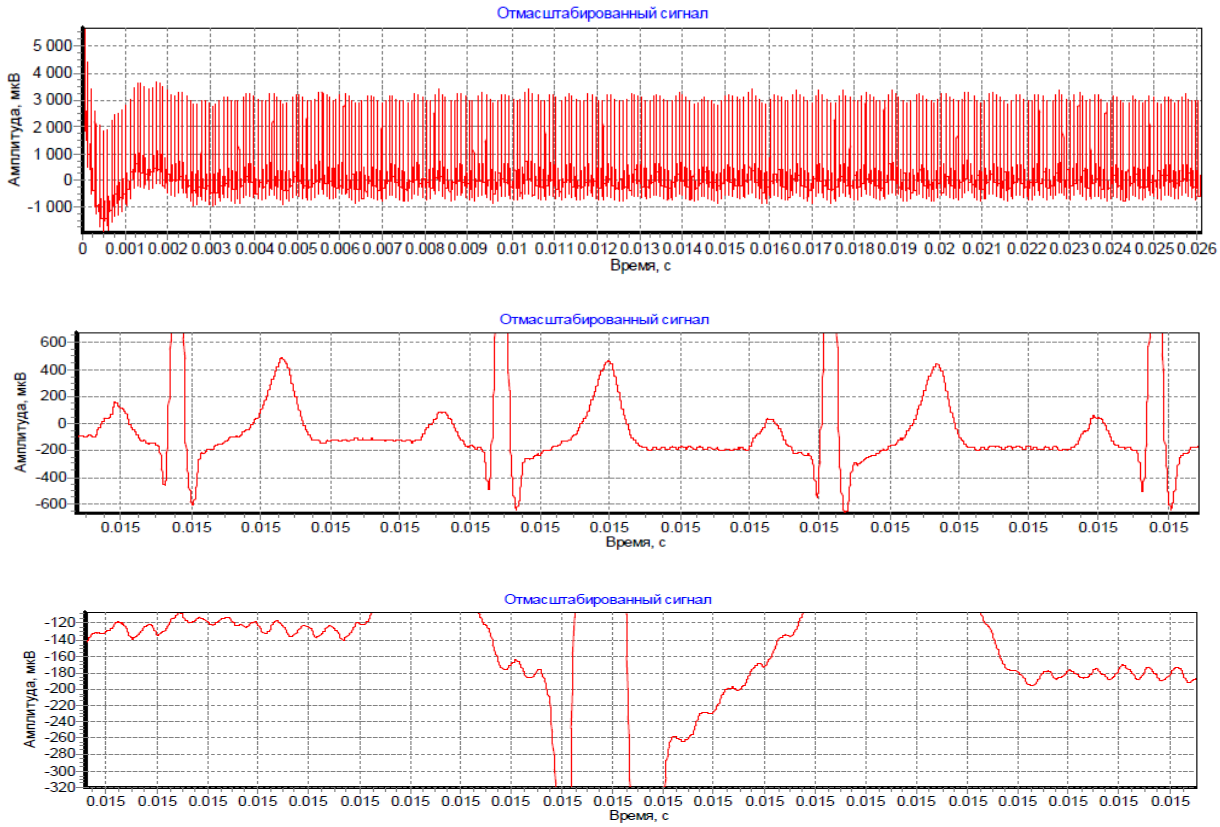


Рис. 5. Сигнал здорового человека на выходе канала ФВЧ с частотой среза 0,05 Гц.

На рис. 6 показан увеличенный фрагмент ЭКГ пациента, зарегистрированный с 1-го грудного отведения по Небу, на входе и выходе ФВЧ с частотой среза 0,05 Гц.

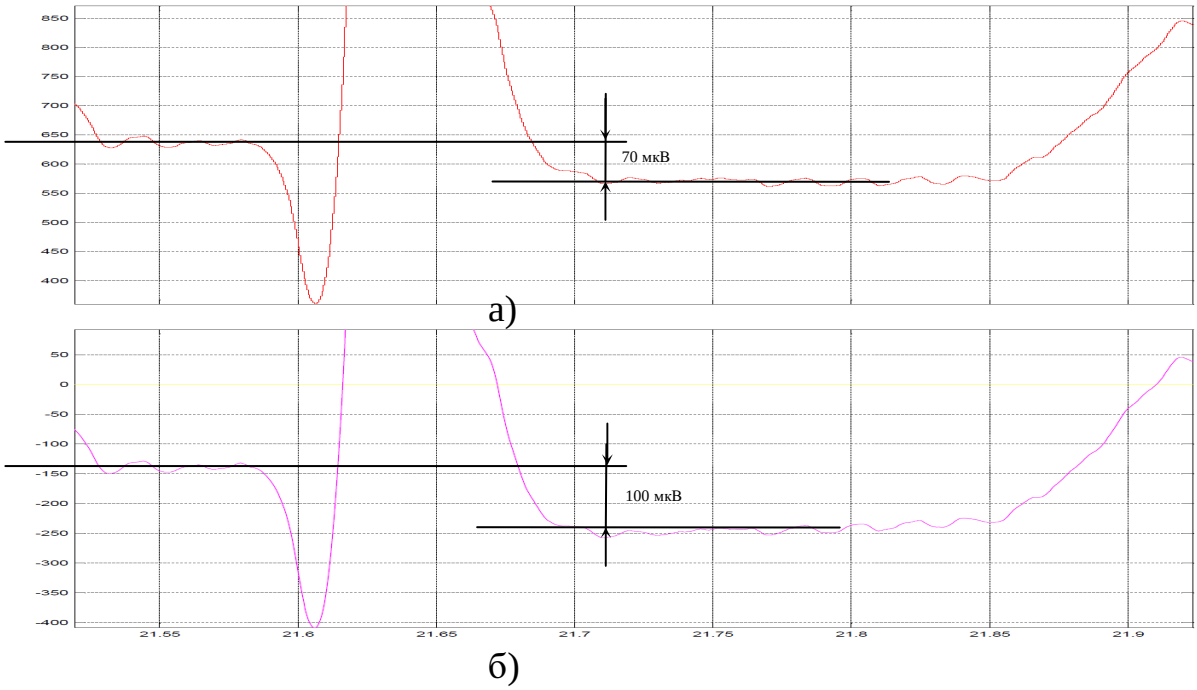


Рис. 6. Фрагмент электрокардиограммы
с грудного отведения по Небу, пациента П5:
а) до фильтрации; б) после фильтрации ФВЧ с частотой среза 0,05 Гц.

В современном кардиографе применяются несколько видов фильтров, предназначенных для разных задач, а каждый из видов может быть представлен несколькими вариантами. Это создает большое число возможных комбинаций фильтров.

В зависимости от параметров фильтрации сигнала могут наблюдаться достаточно заметные изменения в чувствительности выявления ишемии миокарда по смещению сегмента ST, т.к. фильтры в измерительной цепи электрокардиографов оказывают различное влияние на амплитуды, длительности зубцов и смещение интервалов электрокардиосигнала.

Экспериментально доказано, что фильтры высокой частоты приводят к дополнительному смещению S-T комплекса на 30–40 мкВ (рис. 6). В результате такого смещения врачи-кардиологи получают параметр, который можно интерпретировать как ишемию миокарда (смещение 100 мкВ диагностируется как ишемическая болезнь сердца), хотя реальное смещение сигнала составляет порядка 70 мкВ.

В современной электрокардиографической аппаратуре широко используются фильтры высоких частот, которые ограничивают сигнал в области низких частот и приводят к дополнительному смещению ST-сегмента (30–40 мкВ за счет воздействия фильтра), что снижает диагностическую ценность данного метода. Данную проблему можно решить только путем устранения фильтров в измерительной цепи, что достигнуто в электрокардиографах на наноэлектродах.

Разработанный электрокардиограф на наноэлектродах позволяет измерить смещение ST-комплекса, составляющее единицы и десятки мкВ без искажения изоэлектрической линии сердца фильтром высокой частоты, что приведёт к повышению точности диагностики ишемической болезни сердца.

Данное исследование выполняется в соответствии с госзаданием 7.2269.2011 «Проведение фундаментальных исследований по выявлению изменений электрокардиографического сигнала нановольтового и микровольтового уровня с целью ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний» и проектом РФФИ № 12-08-00996 «Исследование искажений тонкой структуры (низкоамплитудных высокочастотных колебаний) биопотенциалов сердца и мозга, вносимых фильтрующими схемами медицинского диагностического оборудования; поиск путей устранения помех с сохранением тонкой структуры уровнем менее 1 мкВ в полосе частот 0–150 Гц».

Список литературы

1. Высокие медицинские технологии – в практику функциональной диагностики // Обозрение. Медтехника. – 2007. – № 5. – URL: http://www.altonika.ru/article.php?id=338 (дата обращения: 03.04.12).
2. Грехов И.С. Разработка и исследование автоматизированной установки для проверки медицинских хлор-серебряных электродов и медицинских наноэлектродов для съема поверхностных биопотенциалов человека : дис. … канд. техн. наук. – Томск, 2008. – 124 с.
3. Латфуллин И.А., Тептин Г.М., Контуров С.В. Сравнительный анализ погрешностей в аналоговой и компьютерной электрокардиографии // Вестник аритмологии. – 1999. – № 13. – С. 54-58.
4. Лежнина И.А. Электрокардиограф на наноэлектродах : дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2009. – С. 40-54.
5. Фильтрация ЭКГ: «мелочь» или нет? // Медицинский алфавит. – URL: http://www.medalfavit.ru/err.html (дата обращения: 24.06.2011).

Рецензенты

Агафонников В.Ф., д.т.н., профессор кафедры конструирования узлов и деталей РЭС (КУДР) Томского университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск.

Максимов И.В., д.м.н., профессор, ведущий специалист ФГБУ «НИИ кардиологии» Сибирского отделения РАМН, г. Томск.