

ПРОГРЕССИВНИ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПРОГРЕССИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES

УДК 004.94:004.932

Агаджанян А. Р.¹, Лоза Е. И.², Нариманова Е. В.³

¹Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры радиотехнических устройств Одесского национального политехнического университета, Одесса, Украина

²Аспирант Одесского национального политехнического университета, Одесса, Украина

³Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информатики и управления защитой информационных систем Одесского национального политехнического университета, Одесса, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ЭКГ С ПАТОЛОГИЯМИ

Актуальность. Работа посвящена актуальной проблеме генерации сигналов электрокардиограмм с искажениями, соответствующими различным патологиям. Такие сигналы могут быть использованы в качестве эталонных для создания новых и верификации существующих методов анализа биомедицинских сигналов, нацеленных на диагностику кардиологических заболеваний.

Цель. Целью данной работы является формирование сигналов электрокардиограмм с известными видами искажений, соответствующих распространенным патологиям. Формирование сигналов электрокардиограмм с патологиями проводилось в соответствии с заболеванием «инфаркт миокарда» как наиболее распространенного среди всех кардио заболеваний с возможным летальным исходом.

Метод. Изучено описание совокупности диагностических признаков заболевания, проявляющихся для элементов сигнала электрокардиограммы, в зависимости от вида инфаркта (мелкоочагового или крупноочагового) и его стадии. Для формирования сигналов электрокардиограммы с заданными патологиями проведено моделирование с использованием смещения, сдвига, масштабирования или исключения во временной области выделенных компонент нормального сигнала электрокардиограммы. В качестве метода обнаружения компонент электрокардиограммы и определения их параметров использованы методы частотно-временного анализа: непрерывное вейвлет-преобразование с материнской функцией «Мексиканская шляпа» и вейвлет-преобразование с вейвлет-функцией « $\text{biog}1.5$ ».

Результаты. Удалось сформировать сигналы электрокардиограмм без патологий, а также с патологиями в виде мелкоочагового и крупноочагового инфаркта. На основании проведенного частотно-временного анализа полученных электрокардиограмм удалось определить особенности искусственно сформированных сигналов, отвечающие заложенным патологиям.

Выводы. Решена задача искусственного формирования сигналов электрокардиограмм, содержащих отклонения от нормы в соответствии с патологиями «мелкоочаговый инфаркт миокарда» и «крупноочаговый инфаркт миокарда». В результате последующего исследования полученных сигналов с патологиями получил дальнейшее развитие метод анализа электрокардиограмм на основе вейвлет-преобразования. Даны рекомендации для использования указанного метода с целью выявления патологий в виде крупноочагового и мелкоочагового инфаркта миокарда. Результаты данной работы в дальнейшем планируется использовать для разработки методов анализа электрокардиограмм с целью ранней диагностики известных кардиологических патологий.

Ключевые слова: электрокардиограмма, патология, инфаркт, QRS-комплекс, вейвлет-преобразование.

НОМЕНКЛАТУРА

P – волна сокращений предсердий в ЭКГ;
 QP – изоэлектрический сегмент ЭКГ перед сокращением желудочков;
 QRS – волна сокращения желудочков в ЭКГ;
 ST – изоэлектрический сегмент в ЭКГ во время сокращения желудочков;
 T – волна фазы расслабления желудочков в ЭКГ;
 $SWT(b, a)$ – непрерывное вейвлет-преобразование;

$x(t)$ – анализируемый сигнал электрокардиограммы;
 ψ – вейвлет-функция;
 a – коэффициент масштаба;
 b – параметр сдвига.

ВВЕДЕНИЕ

Электрокардиограмма (ЭКГ) является электрическим проявлением сократительной активности сердца и наи-

более широко известным, признанным и используемым биомедицинским сигналом. Клиническую ЭКГ можно использовать для диагностики большинства кардиологических заболеваний, поскольку форма волн ЭКГ изменяется под действием сердечно-сосудистых заболеваний и патологий. Диагностика кардиологических заболеваний может быть проведена измерением и выявлением ряда компонент сигнала ЭКГ. Для создания новых и проверки существующих методов анализа ЭКГ, нацеленных на диагностику кардиологических заболеваний, актуальной является задача формирования эталонных сигналов ЭКГ с искажениями, соответствующими различным патологиям. Анализ таких сигналов будет полезен при разработке и верификации методов определения характера и величины искажений в ЭКГ, которые могут свидетельствовать о наличии той или иной патологии.

В связи с этим, целью данной работы является формирование сигналов электрокардиограмм с известными видами искажений, соответствующих распространенным патологиям. В качестве таких патологий выбраны крупноочаговый и мелкоочаговый инфаркты миокарда – заболевания, которые лидируют по количеству летальных исходов среди всех кардио заболеваний и заболеваний системы кровообращения.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для выбранных патологий (крупноочаговый и мелкоочаговый инфаркты миокарда) необходимо исследовать проявление диагностических признаков для элементов ЭКГ и повторить их в синтезированных сигналах. В отличие от реальных сигналов ЭКГ людей, страдающих от указанных заболеваний, синтезированные сигналы должны быть эталонными, т.е. иметь ярко выраженные диагностические признаки соответствующей патологии и не содержать шумовой составляющей.

Для проверки сформированных сигналов ЭКГ с патологиями необходимо также провести исследование возможности применения вейвлет-преобразования для обнаружения и определения компонент сигнала, которые подвергаются искажениям вследствие указанных заболеваний.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

ЭКГ обычно включает 12 каналов последовательно или параллельно записанных сигналов. Сердечный цикл отражается в повторяющемся сигнале ЭКГ в виде периода, состоящего из последовательности волн (зубцов), обозначаемых *P*, *QRS* и *T*. В сердечном цикле в норме наблюдается следующая последовательность волн и интервалов [1]:

- P-зубец – медленная волна с длительностью 60–80 мс и амплитудой 0,1–0,3 мВ;
- QP-сегмент – изоэлектрический сегмент продолжительностью 60–80 мс (важен для распознавания базовой линии);

- QRS-комплекс (волна с большой скоростью распространения) острая двух фазная или трех фазная волна с амплитудой около 1мВ и длительностью 80 мс;

- ST-сегмент – изоэлектрический сегмент продолжительностью 100–120 мс;

- T-зубец – волна с амплитудой 0,1–0,3 мВ и длительностью 120–160 мс.

Нормальные значения параметров указанных элементов ЭКГ приведены в таблице 1 [1].

В [1] указано влияние ишемии и инфаркта миокарда на форму *QRS*-комплекса, которое носит в основном описательный характер. Кроме того, в [1] были предложены математические модели, частично или полно представляющие процесс генерации некоторых биомедицинских сигналов. Однако при моделировании сигналов ЭКГ внимание было уделено анализу ритма, вследствие чего больший интерес представляли временные соотношения между комплексами, чем индивидуальные формы их волн. Таким образом, в [1] было рассмотрено моделирование ритма ЭКГ без учета специфических особенностей форм волн ЭКГ, относящихся к предсердиям и желудочкам. Моделирование сигналов ЭКГ с патологиями не проводилось.

Существует несколько основных методов анализа ЭКГ сигналов: временной, спектрально-временной, анализ в фазовом пространстве и другие [1]. Однако измерения амплитуды и длительности ЭКГ-компонент с помощью методов анализа временной области не всегда достаточно для описания всех особенностей ЭКГ-сигнала. Использование информации совместно временной и частотной областей дает исчерпывающие результаты [2], вследствие чего использование вейвлет-преобразования для анализа сигналов ЭКГ является наиболее перспективным и нашло свое отражение во многих работах. Так, например, в [2–3] вейвлет «Мексиканская шляпа» находит применение при оценке параметров *QRS*-комплекса и отклонений ЭКГ от нормы, что обусловлено свойствами вейвлета [4].

Большая часть клинической информации ЭКГ содержится в длительности волн (комплексов) и их амплитудах [5]. Для обнаружения компонент ЭКГ были протестированы различные типы вейвлет-функций. Авторами работ [6–7] для анализа ЭКГ предложено использование семейства биортогональных вейвлетов, а в работе [8] используют гауссовы вейвлеты. В [9] в результате сравнительного анализа нескольких материнских функций была выбрана вейвлет-функция «*bio1.5*». Вейвлет является симметричным, имеет компактный носитель, равен первой производной от скейлинг-функции и имеет один нулевой момент, что делает его применение очень удобным для использования при анализе сигнала ЭКГ. Вейвлет-преобразование на различных масштабах описывает временной характер в различных диапазонах частот, что дает при выборе оптимального значения масштаба свести к минимуму влияние помех и артефактов.

Таблица 1 – Параметры сигнала ЭКГ в норме

Параметр	Значение параметра элемента ЭКГ					
	Волна P	Интервал PQ	QRS- комп.	Интервал QT	Сегмент ST	Волна T
Амплитуда, мВ	0–0,25	–	0,3–5	–	–	0,4–1
Длительность, с	0,07–0,11	0,12–0,2	0,06–0,1	0,35–0,44	0,06–0,15	0,1–0,2

Представленный в [9] подход использует один оптимальный масштабный коэффициент для каждого компонента ЭКГ в отдельности: масштаб 15 для обнаружения *QRS*-комплекса и масштаб 41 для *P* и *T*-волн.

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Согласно [1] ЭКГ представляет собой квазипериодический сигнал, в котором *P*-зубец является суммарным результатом потенциалов действия двигательных единиц предсердия, в то время как *QRS*-комплекс и *T*-зубец формируются в результате пространственно-временного суммирования потенциалов действия двигательных единиц желудочков.

При ишемии и инфаркте миокарда первичные изменения отражаются на ЭКГ в виде модифицированного *ST*-сегмента, который либо приподнят, либо опущен, в зависимости от используемого отведения и местоположения поврежденной части сердца; *T*-волна может также быть инвертирована. Хронический инфаркт миокарда вызывает возврат к нормальному *ST*-сегменту и выраженный *Q*-зубец [1].

В зависимости от площади поражения миокарда выделяют два типа инфаркта: мелкоочаговый и крупноочаговый. Выделяют также два типа мелкоочагового инфаркта [1]: субэндокардиальный (сопровождается смещением *ST*-сегмента ниже изоэлектрической линии) и интрамуральный (сопровождается отрицательным *T*-зубцом). Крупноочаговый инфаркт имеет следующие стадии [1]: острый (*ST*-сегмент выше изолинии, *T*-зубец не определяется), подострый (*ST*-сегмент начинает опускаться к изолинии и появляется отрицательный *T*-зубец) и период рубцевания (*ST*-сегмент находится на изолинии, *T*-зубец отрицателен, *Q*-зубец отчетливо выделяется).

Сигнал ЭКГ как периодическая функция с основной частотой, определяемой сердцебиением, и удовлетворяющая условию Дирихле, может быть представлена в виде ряда Фурье. Такое представление сигнала ЭКГ в норме реализовано, например, в Matlab в виде функции *ecg*.

Для формирования сигналов ЭКГ с заданными патологиями предлагается провести моделирование с использованием смещения, сдвига, масштабирования или исключения во временной области выделенных компонент нормального сигнала ЭКГ. Кроме того, при необходимости в моделируемый сигнал ЭКГ могут быть включены шумовые составляющие (сетевая наводка в виде пилообразных колебаний, неправильные частые мелкие колебания различной частоты и амплитуды, дрейф изолиний), которые на практике могут быть вызваны мышечным тремором, кашлем, дыханием, а также плохим контактом с кожей.

Формирование сигналов ЭКГ с патологиями с последующим их исследованием позволяют проверять различные методы их анализа. Предлагается использовать методы анализа, которые позволяют обнаруживать компоненты ЭКГ и определять их параметры (длительности волн *P* и *T*, *QRS*-комплекса), основанные на применении непрерывного вейвлет-преобразования:

$$CWT(b, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt.$$

4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Для правильной диагностики по данным таблицы 1 параметров ЭКГ в норме необходимо сформировать сигнал без патологий и шумов. Для формирования сигналов с патологиями (крупноочаговый и мелкоочаговый инфаркт) предлагается использовать стандартные сигналы ЭКГ путем изменения параметров *T*-волны и *QRST*-комплекса (изменения значений их амплитуд и временных границ). Моделирование сигнала ЭКГ проводится в среде Matlab с использованием функции *ecg*.

Для проверки всех сформированных сигналов ЭКГ (с патологиями и без) предлагается получать вейвлет-спектр с материнской функцией «Мексиканская шляпа».

Для обнаружения *QRS*-комплекса необходимо применить вейвлет-преобразование с использованием вейвлет-функции «*bio1.5*» и масштаба 15 [9]. После чего определить пороговое значение, равное половине глобального максимума (минимума) в результате вейвлет-преобразования. Поиск комплекса заключается в поиске и анализе *S*-образной кривой, начало и конец которой будет соответствовать границам *QRS*-комплекса, а центральный переход через ноль совпадать с пиком в комплексе. Далее следует осуществить поиск двух последовательных пар значений времени, при которых результат вейвлет-преобразования, при заданном масштабном коэффициенте, пересекает уровень нуля, между которыми находится результате вейвлет-преобразования, превышающий по модулю значение ранее рассчитанного порога. Таким образом, начало первого интервала времени и конец второго должны соответствовать границам *QRS*-комплекса, а конец первого интервала времени (или начало второго) соответствовать его пику.

Для исключения влияния большой разницы между амплитудами *QRS*-комплекса, *P* и *T* волнами, предлагается после обнаружения *QRS*-комплекса удалить его и линейно аппроксимировать участок сигнала.

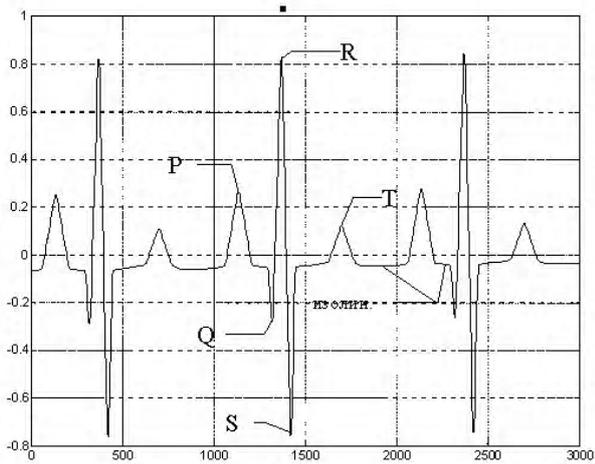
После удаления *QRS*-комплекса аналогично определяются положение *P* и *T*-волн, используя масштабный коэффициент 41.

На основании анализа метода [9], предлагается для определения *QRS*-комплекса использовать четыре последовательных интервала времени для определения пиков волн (*Q*, *R*, *S*) в составе *QRS*-комплекса и его границы. Установлено, что для исключения влияния возможного дрейфа базовой линии оптимально использовать масштабный коэффициент 70 для обнаружения *T*-волны.

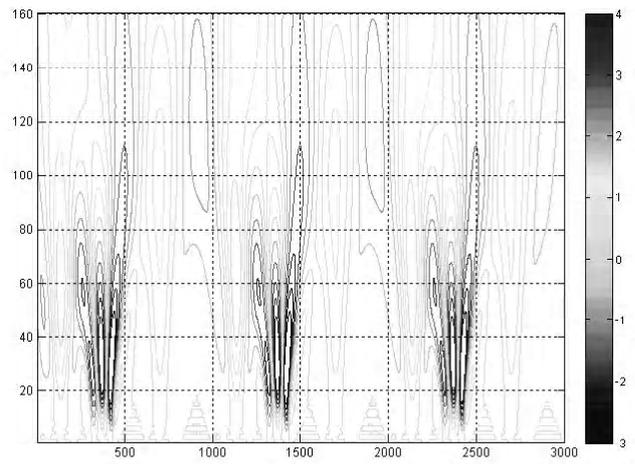
5 РЕЗУЛЬТАТЫ

Сигнал ЭКГ без патологии и его вейвлет-спектр представлены на рис. 1. Сигнал ЭКГ с патологиями в виде мелкоочагового и крупноочагового инфаркта, а также их вейвлет-спектры с материнской функцией «Мексиканская шляпа» представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

Из приведенных сигналов четко выделяются патологии: в первом случае (рис. 2, а) это отрицательная волна *T* в отведениях под областью инфаркта; во втором (рис. 3, а) – сегмент *ST*, который находится выше изолинии, и волна *T*, которая не дифференцируется (имеет постоянный уровень 0,35).

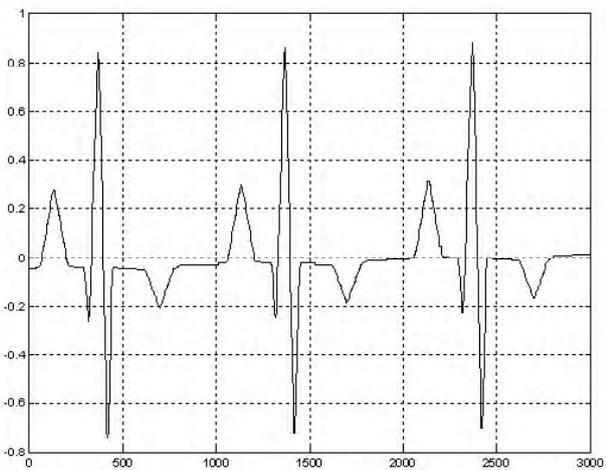


а

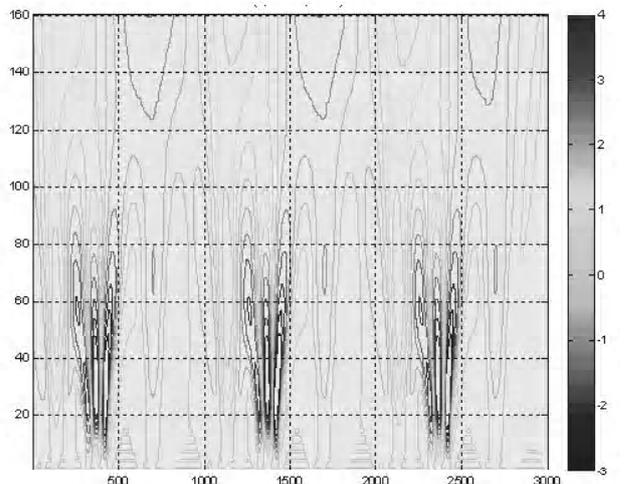


б

Рисунок 1 – Представление ЭКГ: а – сигнал в норме; б – вейвлет-спектр ЭКГ

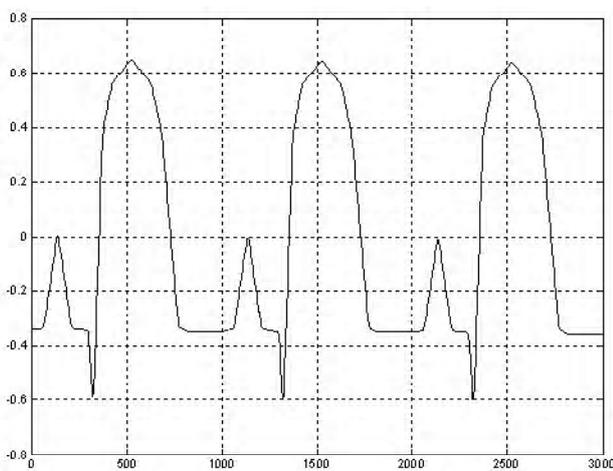


а

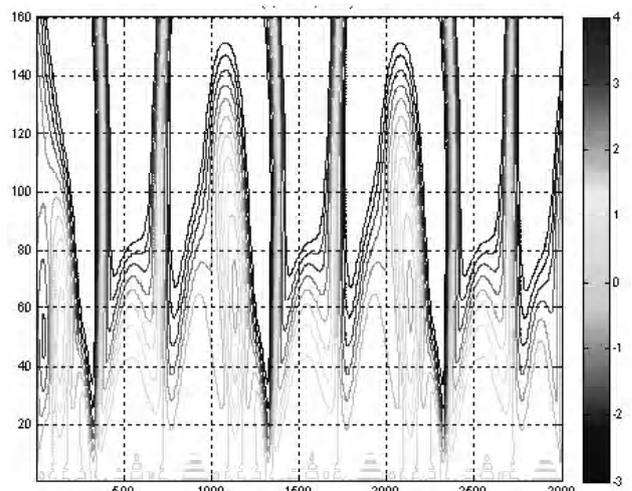


б

Рисунок 2 – Сформированная ЭКГ: а – сигнал с патологией «мелкоочаговый инфаркт»; б – вейвлет-спектр ЭКГ



а



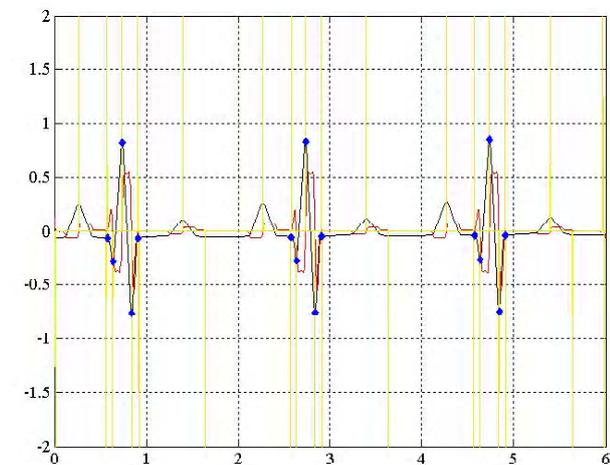
б

Рисунок 3 – Сформированная ЭКГ: а – сигнал с патологией «крупноочаговый инфаркт»; б – вейвлет-спектр ЭКГ

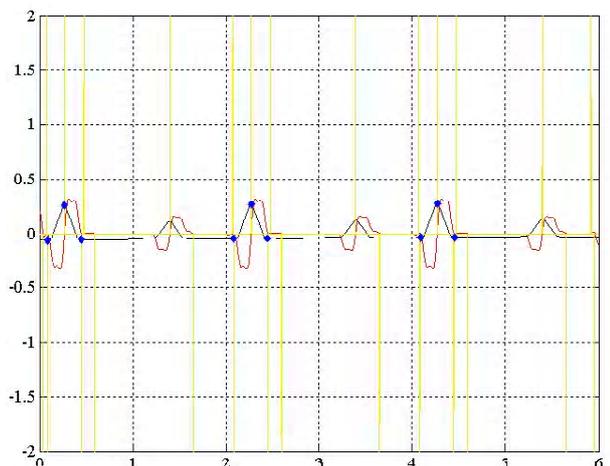
Обнаруженный в сигнале ЭКГ без патологии QRS-комплекс с использованием масштабного коэффициента 15 представлен на рисунке 4, а. На рисунках 4, б и 4, в изображены выделенные *P* и *T*-волны с применением масштабных коэффициентов 41 и 70. Вертикальными

линиями обозначены переходы через ноль. Маркерами обозначены пики и границы комплекса.

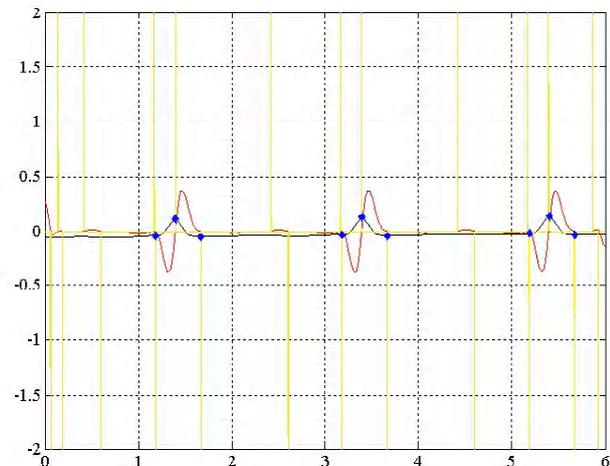
При наличии нарушений в работе сердца форма ЭКГ сигнала меняется. Возможны изменения формы *QRS*-комплекса и инверсия *T*-волны. Результат анализа ЭКГ с заданными патологиями представлен на рисунках 5 и 6.



а

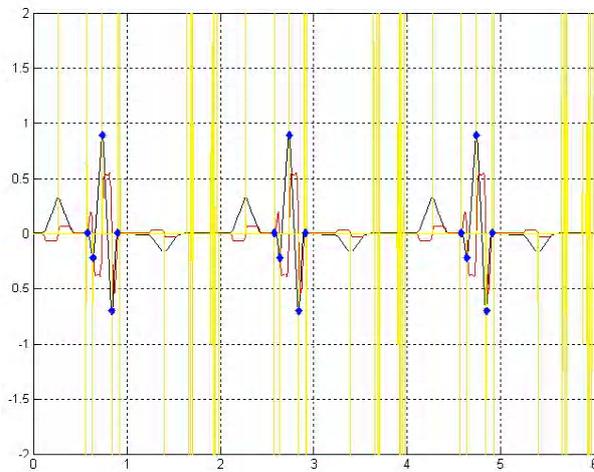


б

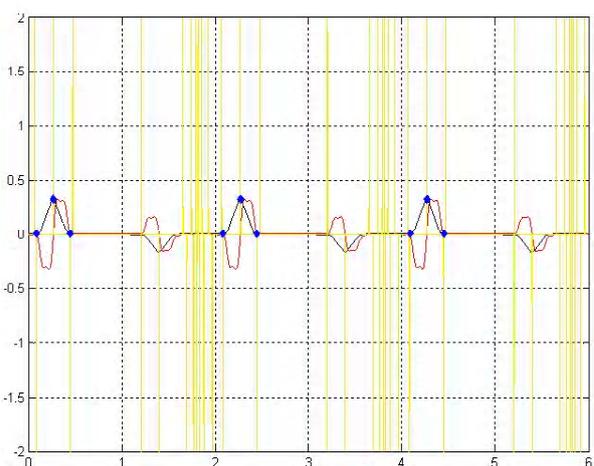


в

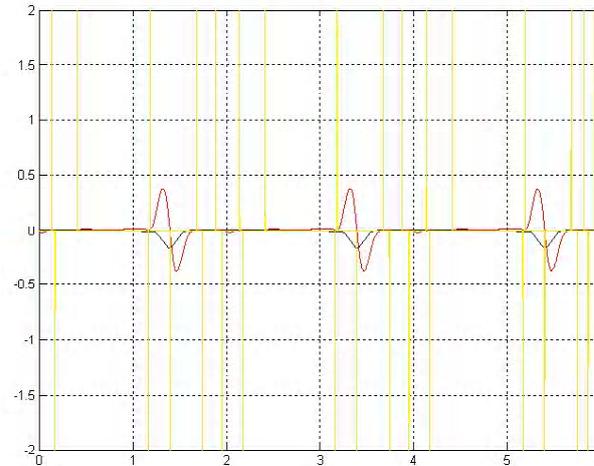
Рисунок 4 – Результаты обнаружения: а – QRS-комплекса; б – *P*-волны; в – *T*-волны



а

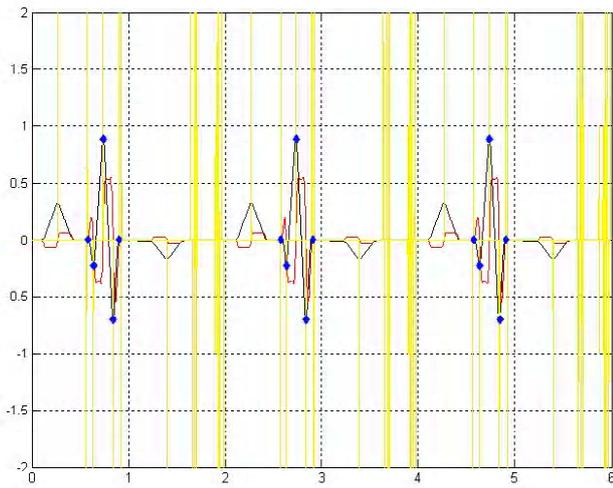


б

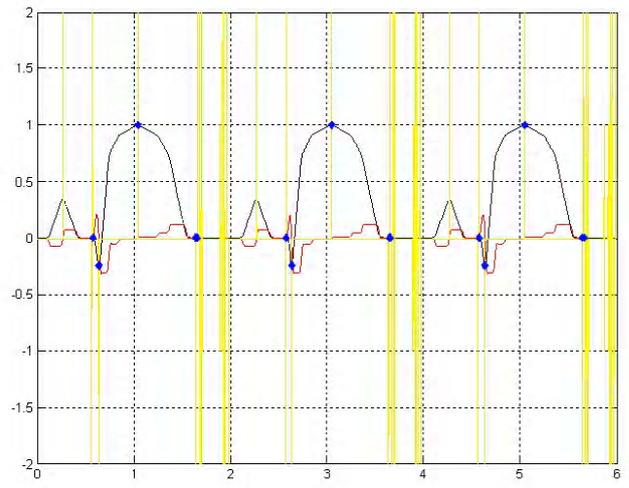


в

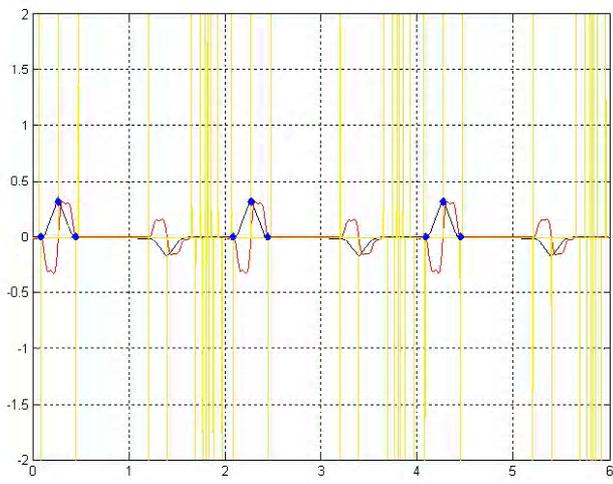
Рисунок 5 – Результаты обнаружения для сигнала ЭКГ с патологией «мелкоочаговый инфаркт»: а – *QRS*-комплекса; б – *P*-волны; в – *T*-волны



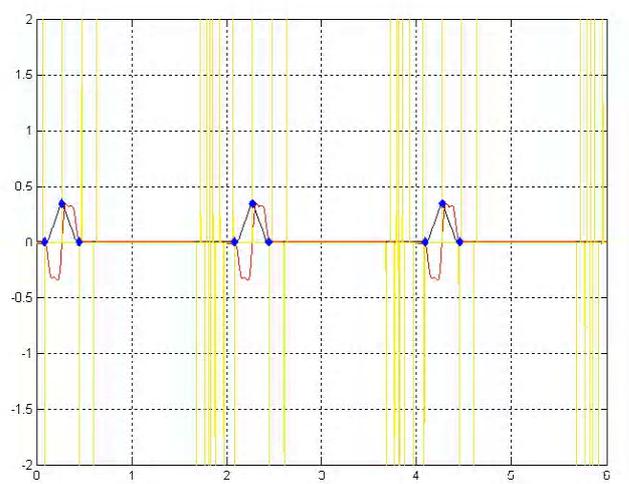
а



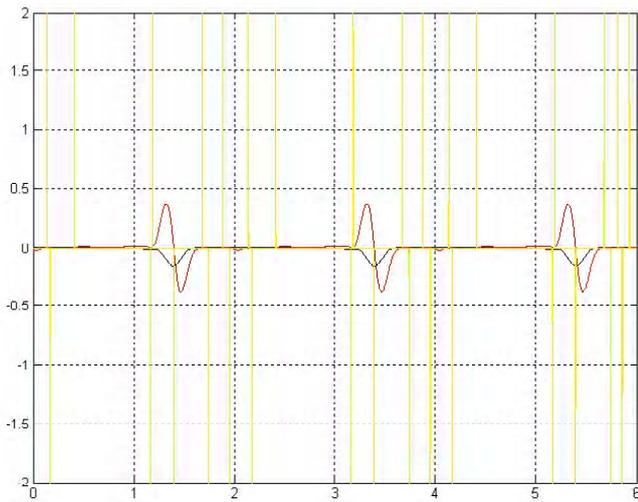
а



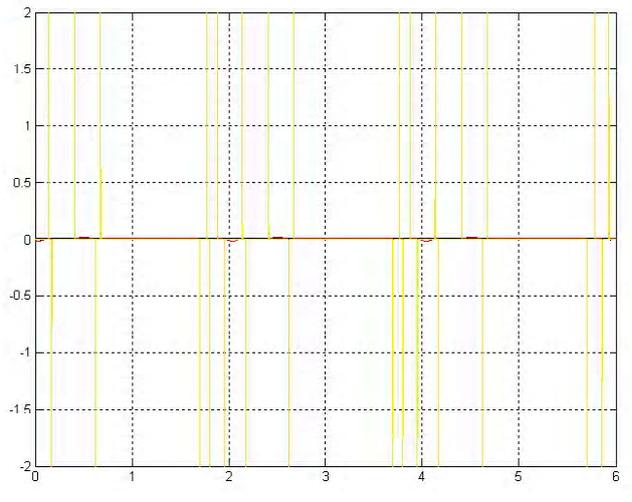
б



б



в



в

Рисунок 5 – Результати виявлення для сигналу ЕКГ з патологією «мелкоочаговий інфаркт»: а – *QRS*-комплекса; б – *P*-волни; в – *T*-волни

Рисунок 6 – Результати виявлення для сигналу ЕКГ з патологією «крупноочаговий інфаркт»: а – *QRS*-комплекса; б – *P*-волни; в – *T*-волни

6 ОБСУЖДЕНИЕ

Удалось сформировать сигналы ЭКГ как в норме, так и с заданными видами патологий. Некоторые примеры сигналов ЭКГ с патологиями приведены на рисунках 2а и 3а.

Следующая задача исследования – выявление особенностей искусственно сформированных сигналов ЭКГ решалась с использованием методов частотно-временного анализа. Так априорная неопределенность свойств сигналов и помех, определяемая индивидуальными особенностями пациентов, может быть устранена с использованием методов частотно-временного анализа, что позволило четко диагностировать патологии в сигналах ЭКГ (см. рис. 2б и рис. 3б). При известных патологиях ЭКГ сигнала масштабные коэффициенты в изоклинах спектра имеют четкие ограничения. В первом случае (рис. 2а) выделенные патологии визуально сопоставимы (рис. 1, б и рис. 2б), и определение отрицательного сегмента T возможно при расширении изоклина (рис. 2б) в границах воздействия отрицательного T -сегмента (600–750 отсчетов по оси времени) и 60–80 единиц по оси масштабам. Во втором случае (рис. 3б) выделение смещенного ST -сегмента трудно определить по приведенному вейвлет-спектру (рис. 3б).

В результате выполнения анализа сигнала ЭКГ с патологией «мелкоочаговый инфаркт» не была обнаружена волна T (рис. 5в). Причиной является то, что волна T при заданной патологии имеет отрицательную амплитуду, и, соответственно, результат вейвлет-преобразования содержит инверсную S -кривую, которая выбранным методом анализа не может быть обнаружена. Для обнаружения T -волны такого вида необходимо выполнить поиск S -кривой, исходя из предположения о ее инверсном характере.

При анализе сигнала ЭКГ с патологией «крупноочаговый инфаркт» также не была обнаружена T -волна (рис. 6в), поскольку при данной патологии происходит слияние QRS -комплекса и T -волны (рис. 6а). В связи с этим увеличение длительности QRS -комплекса, является диагностическим критерием. Не обнаружение T -волны или обнаружение T -волн, имеющих малую амплитуду (например, вследствие шумов измерений), может являться критерием обнаружения для патологии «крупноочаговый инфаркт».

Реализованный метод анализа на основе вейвлет-преобразования позволяет выделять составляющие и параметры ЭКГ сигнала. Однако, при анализе сигнала с различными патологиями не всегда выделяются составляющие, форма которых отличается от принятой в качестве исходной, например, наличие отрицательных пиков или их уширения и сглаживания. В случае не обнаружения характерных составляющих сигнала ЭКГ должно быть сделано заключение о нарушении работы сердца.

Предлагается в методе анализа сигналов ЭКГ применять повторный анализ для поиска компонент с отрицательными амплитудами или более протяженных во времени, чем ожидалось, если они не были обнаружены в результате начального анализа. Это позволит выполнить первичное распознавание характера патологии.

Агаджанян А. Р.¹, Лоза К.И.², Наріманова О. В.³

¹Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры радіотехнічних пристроїв Одеського національного політехнічного університету, Одеса, Україна

²Аспірант Одеського національного політехнічного університету, Одеса, Україна

³Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інформатики та управління захистом інформаційних систем Одеського національного політехнічного університету, Одеса, Україна

ФОРМУВАННЯ І АНАЛІЗ СИГНАЛІВ ЕКГ З ПАТОЛОГІЯМИ

Актуальність. Робота присвячена актуальній проблемі генерації сигналів електрокардіограм зі спотвореннями, що відповідають різним патологіям. Такі сигнали можуть бути використані в якості еталонних для створення нових та верифікації існуючих методів аналізу біомедичних сигналів, що мають на меті діагностику кардіологічних захворювань.

ВЫВОДЫ

На основе описательных характеристик элементов сигналов ЭКГ при наличии различных патологий, доступных из медицинской литературы, впервые удалось сформировать эталонные сигналы электрокардиограмм с заданными искажениями, соответствующими различным видам патологий. Для проверки некоторые сформированные сигналы, приведенные в работе, подверглись исследованию на основе вейвлет-преобразования, в результате чего получил дальнейшее развитие метод анализа электрокардиограмм на основе вейвлет-преобразования. По результатам исследования даны рекомендации для выявления нарушений в сигналах, соответствующих патологиям в виде крупноочагового и мелкоочагового инфаркта.

Несмотря на то, что упор в работе делается на моделировании сигналов электрокардиограмм с патологиями и без, основной и дальнейшей целью авторов является разработка методов и устройств анализа ЭКГ для возможности диагностики известных патологий, в том числе на ранних стадиях развития.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в Одесском национальном политехническом университете в рамках госбюджетной научно-исследовательской темы кафедры радиотехнических устройств № 1–58 «Динамика и устройства сигнальных преобразований».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рангайян Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Р. М. Рангайян. – М. : Физматлит, 2007. – 440 с.
2. Чесноков Ю. В. Вейвлет-преобразование в обработке электрокардиограмм / Ю. В. Чесноков, В. И. Чижиков // Вестник новых медицинских технологий. – 2003. – Т. X, № 1. – С. 5–8.
3. Хафизов А. Р. Использование вейвлет-преобразования при анализе ЭКГ / А. Р. Хафизов, М. В. Башашин // Издание МИФИ. – 1999. – Т. 7. – С. 16–17.
4. Брюханов Ю. А. Основы цифровой обработки сигналов / Ю. А. Брюханов, А. Л. Приоров. – Ярославль : ЯрГУ, 2013. – 344 с.
5. Vitec M. A Wavelet-Based ECG Delineation with Improved P Wave Offset Detection Accuracy / M. Vitec, J. Hrubes // Analysis of Biomedical Signals and Images. – 2010. – P. 160–165.
6. Vitec M. A wavelet-based ECG delineation in Multilead ECG signals: Evaluation on the CSE Database / M. Vitec, J. Hrubes // IFMBE Proceedings. – 2009. – Vol. 25. – P. 177–180.
7. Martínez J. P. A wavelet-based ECG delineator: evaluation on standard databases / [J. P. Martínez, R. Almeida, S. Olmos and other] // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2004. – Vol. 51, No. 4. – P. 570–581.
8. Sahambi J. S. Using wavelet transform for ECG characterization / J. S. Sahambi, S. Tandon, R.K.P. Bhatt // IEEE Engineering in Medicine and Biology. – 1997. – Vol. 16, No. 1. – P. 77–83.
9. Дубровин В. И. Усовершенствование методов анализа ЭКГ-сигналов на основе вейвлет-преобразования в системе электрокардиографии высокого разрешения / В. И. Дубровин, Ю. В. Твердохлеб // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2011. – № 1. – С. 91–98.

Статья поступила в редакцию 14.12.2016.

После доработки 27.01.2017.

Мета. Метою даної роботи є формування сигналів електрокардіограм з відомими видами спотворень, що відповідають поширеним патологіям. Формування сигналів електрокардіограм з патологіями проводилось у відповідності з захворюванням «інфаркт міокарда» як найбільш розповсюдженого серед всіх кардіо захворювань з можливим летальним кінцем.

Метод. Досліджено опис сукупності діагностичних при знаків захворювання, що проявляються для елементів сигналу електрокардіограми, в залежності від виду інфаркту (дрібновогнищезового чи великовогнищезового) і його стадії. Для формування сигналів електрокардіограми з заданими патологіями проведено моделювання з використанням зміщення, зсуву, масштабування або виключення у часовій області виділених компонент нормального сигналу електрокардіограми. В якості методів виявлення компонент електрокардіограми і визначення їх параметрів використані методи частотно-часового аналізу: неперервне вейвлет-перетворення з материнською функцією «Мексиканська шляпа» і вейвлет-перетворення з вейвлет-функцією «bior1.5».

Результати. Вдалось сформувати сигнали електрокардіограм без патологій, а також з патологіями у вигляді дрібновогнищезового і великовогнищезового інфаркту. На основі проведеного частотно-часового аналізу отриманих електрокардіограм вдалось виявити особливості штучно сформованих сигналів, що відповідають закладеним патологіям.

Висновки. Вирішено задачу штучного формування сигналів електрокардіограм, що містять відхилення від норми у відповідності з патологіями «дрібновогнищезовий інфаркт міокарда» і «великовогнищезовий інфаркт міокарда». В результаті наступного дослідження отриманих сигналів з патологіями отримав подальший розвиток метод аналізу електрокардіограм на основі вейвлет-перетворення. Надано рекомендації для використання зазначеного методу з метою виявлення патологій у виді великовогнищезового і дрібновогнищезового інфаркту міокарда. Результати даної роботи в подальшому плануються використовувати для розробки методів аналізу електрокардіограм з метою ранньої діагностики відомих кардіологічних патологій.

Ключові слова: електрокардіограма, патологія, інфаркт, QRS-комплекс, вейвлет-перетворення.

Ahadzhanian A. R.¹, Loza K. I.², Narimanova O. V.³

¹PhD, Associate Professor, Associate Professor of Department of Radiotechnical Devices, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

²Postgraduate student, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

³PhD, Associate Professor, Associate Professor of Department of Informatics and Information System's Protection Management, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

FORMATION AND ANALYSIS OF ECG SIGNALS WITH PATHOLOGIES

Context. The work is devoted to the actual problem of the generation of electrocardiogram signals with distortions corresponding to the different pathologies. These signals can be used as a standard for developing new and verification of existing methods for biomedical signals analyzing aimed at the diagnosis of heart diseases.

Objective. The aim of this work is the formation of electrocardiogram signals with the known types of distortions corresponding to the common pathologies. The formation of electrocardiogram signals with pathologies is carried out in accordance with heart disease «myocardial infarction» as it is the most widespread among all the heart diseases which can be lethal.

Method. The description of a set of diagnostic disease symptoms for elements of electrocardiogram signal depending on the type of infarction (subendocardial or transmural) and its stage is studied. To generate the electrocardiogram signals with the given pathologies the modeling using an offset, shift, scale or exception in the time domain of allocated signal component of the normal electrocardiogram is conducted. The time-frequency analysis methods (continuous wavelet transform with the maternal function «Mexican hat» and wavelet transform with the wavelet function «bior1.5») are used for electrocardiogram component detection and determination of their parameters.

Results. It came possible to generate electrocardiogram signals both without and with pathologies in the forms of subendocardial and transmural myocardial infarction. Based on the time-frequency analysis of the obtained electrocardiograms it came possible to determine the features of artificially generated signals corresponding to the pledged pathologies.

Conclusions (scientific novelty and practical significance). The problem of synthetic formation of an electrocardiogram signal containing deviations from the norm in accordance with the pathologies «subendocardial infarction» and «transmural infarction» is resolved. As a result of the subsequent studies of the received signals with pathologies the method of analysis of electrocardiograms based on wavelet transform is further developed. Recommendations for the use of this method to detect the pathologies in the forms of subendocardial and transmural myocardial infarctions are given. The results of this work are planned to be used in the future to develop electrocardiograms analysis methods for early detection of known cardiac pathologies.

Keywords: electrocardiogram, pathology, infarction, QRS-complex, wavelet transform.

REFERENCES

- Rangayyan R. M. Analiz biomeditsinskih signalov. Prakticheskiy podhod. Moscow, Fizmatlit, 2007, 440 p.
- Chesnokov Yu. V., Chizhikov V. I. Veyvlet-preobrazovanie v obrabotke elektrokardiogramm, *Vestnik novyih meditsinskih tehnologiy*, 2003, Vol. X, No. 1, pp. 5–8.
- Hafizov A. R., Bashashin M. V. Ispolzovanie veyvlet-preobrazovaniya pri analize EKG, *Izdanie MIFI*, 1999, Vol. 7, pp. 16–17.
- Bryuhanov Yu. A., Priorov A. L. Osnovy tsifrovoy obrabotki signalov. Yaroslavl, YarGU, 2013, 344 p.
- Vitec M., Hrubes J. A Wavelet-Based ECG Delineation with Improved P Wave Offset Detection Accuracy, *Analysis of Biomedical Signals and Images*; 2010, pp. 160–165.
- Vitec M., Hrubes J. A wavelet-based ECG delineation in Multilead ECG signals: Evaluation on the CSE Database, *IFMBE Proceedings*, 2009, Vol. 25, pp. 177–180.
- Martinez J. P., Almeida R., Olmos S., Rocha A. P., Laguna P. A wavelet-based ECG delineator: evaluation on standard databases, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2004, Vol. 51, No. 4, pp. 570–581.
- Sahambi J. S., Tandon S., Bhatt R.K.P. Using wavelet transform for ECG characterization, *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 1997, Vol. 16, No. 1, pp. 77–83.
- Dubrovina V. I., Tverdohleb Yu. V. Usovshenstvovanie metodov analiza EKG-signalov na osnove veyvlet-preobrazovaniya v sisteme elektrokardiografii vyisokogo razresheniya, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2011, No. 1, pp. 91–98.