#### КАМЕНСКИЙ Сергей Александрович

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ШОКОВЫХ РИТМОВ СЕРДЦА МЕТОДОМ МЕЖПОРОГОВОГО ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ЭКГ

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

# Работа выполнена в ГОУ ВПО «Московский государственный институт электронной техники (технический университет)» на кафедре биомедицинских систем

#### Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, профессор С.В. Селишев Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор В.Б. Парашин Кандидат технических наук, с.н.с. Г.В. Фролова Ведущая организация: ЗАО «ВНИИМП-ВИТА» (НИИ медицинского приборостроения) РАМН Защита состоится "28" уска бря 2005 г. в 1430 на заседании диссертационного совета Д 212.134.02 в Московском государственном институте электронной техники (техническом университете) по адресу: 124498, Москва, г. Зеленоград, проезд 4806, д. 5, МИЭТ. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИЭТ "23 " нолора 2005 года

С.А. Каменский Автореферат разослан Соискатель Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат технических наук, профессор И.В. Воробьев

<del>2006-4</del> 25043

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

#### Актуальность темы

Внешняя электрическая дефибрилляция сердца человека широко распространенный и эффективный метод в реаниматологии, в системах жизнеобеспечения и защиты человека. Со времени своего появления в шестидесятых годов XX века электрические внешние кардиовертеры/дефибрилляторы (ВЭКД) превратились из простых импульсных генераторов в высокоинтеллектуальные электронные системы, которые способны реализовывать сложные аналоговые и цифровые функции. Решение медико-технических задач разработке требует междисциплинарного подхода, основанного на синтезе знаний физиологии. электроники, системного анализа. управления и обработки информацией.

По областям применения современные ВЭКД разделяют на следующие классы аппаратов: клинические (полуавтоматические) ВЭКД, автоматические внешние дефибрилляторы (АВД), носимые внешние дефибрилляторы (НВД). При использовании клинических ВЭКД решение о воздействии электрическим импульсом на пациента в данный момент времени принимает специально подготовленный медицинский персонал. При использовании автоматических и носимых внешних дефибрилляторов соответствующее решение принимается и выполняется аппаратом основе автоматического на анализа электрокардиограммы (ЭKГ) человека И алгоритма принятия соответствующего решения.

Форма и параметры участка ЭКГ при котором необходимо воздействовать внешним электрическим импульсом на сердце человека называется шоковым ритмом сердца (ПРС). Участок ЭКГ, имеющий форму и параметры, при которых такое воздействие не рекомендуется, называют нешоковым ритмом сердца (НШРС).

Несмотря на достаточно интенсивные исследования, до настоящего времени нет общепринятых методов и средств автоматической обработки электрокардиографической информации для распознавания ШРС и НШРС полностью пригодных для использования в автоматических и носимых внешних дефибрилляторах. Кроме того, информация о реализации тех или иных методов распознавания ШРС и НШРС в конкретных ВЭКД, как правило, недоступна.

Таким образом, актуальной задачей является дальнейшее исследование методов и средств анализа электрокардиографической

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА
С.Петеабург (4/2)
С. Петеабург (4/2)

информации для распознавания ШРС и НШРС, совершенствование систем принятия решений с целью повышения эффективности функционирования автоматических носимых внешних дефибрилляторов И. R конечном итоге. целью повышения эффективности жизнеобеспечения и защиты человека методом внешней электрической дефибрилляции.

#### Цель и задачи исследования

Целью исследования являлась разработка нового метода и средств анализа электрокардиографической информации, нового критерия принятия решения для автоматического распознавания шоковых ритмов сердца на основе межпорогового частотно-временного анализа электрокардиограммы целью повышения эффективности c функционирования автоматических И носимых внешних дефибрилляторов в том числе:

- 1) анализ существующих методов автоматического распознавания ШРС и НШРС, выявление их преимуществ и недостатков;
- 2) разработка нового метода межпорогового частотно-временного анализа ЭКГ для распознавания ШРС и НШРС, удовлетворяющего ограничениям на время принятия решения, необходимым для эффективного применения во внешнем дефибрилляторе;
- 3) исследование достоверности и помехоустойчивости предложенного метода;
- 4) внедрение результатов исследования в разработки кафедры биомедицинских систем МИЭТ по ВЭКД.

#### Научная новизна работы состоит в следующем:

- 1. В пределах изменения амплитуд ЭКГ впервые установлено существование узкой области обладающей необходимой информативностью для распознавания ШРС и НШРС.
- 2. Установлена взаимосвязь ширины выделенной области амплитуд ЭКГ и ее информативности для распознавания ШРС и НШРС.
- 3. Установлена зависимость информативности выделенной области амплитуд от длительности временного отрезка ЭКГ, используемого при распознавании ШРС и НШРС.
- 4. Из набора параметров, характеризующих ЭКГ, для распознавания ШРС и НШРС впервые предложено использовать время, в течение которого сигнал ЭКГ каким-либо образом переходит через выделенную узкую область амплитуд.

- 5. Установлена зависимость времени, в течение которого ЭКГ какимлибо образом переходит через выделенную область амплитуд при ШРС и НШРС, от длительности временного отрезка сигнала, используемого для анализа.
- 6. Разработан новый линейный метод распознавания ШРС и НШРС, который удовлетворяет условиям, необходимым для его применения в автоматических и носимых внешних дефибрилляторах.
- 7. Установлена зависимость достоверности распознавания ШРС и НШРС предлагаемым методом от вида помех и артефактов, влияющих на ЭКГ.

#### Практическая значимость работы

- Установлена эффективность работы методов распознавания ШРС и НШРС, реализуемых в ВЭКД, при разделении конкретных видов шокового и нешокового ритма;
- Разработан новый линейный алгоритм для распознавания ШРС и НШРС автоматическим или носимым внешним дефибриллятором, на основе межпорогового частотно-временного анализа ЭКГ;
- Проведено сравнение достоверности, помехоустойчивости и вычислительной сложности методов детектирования ШРС показавшее, что новый линейный алгоритм удовлетворяет требованиям, предъявляемым к НВД, в большей мере, чем методы, предложенные ранее.

#### Положения, выносимые на защиту:

- 1. Установленная узкая область амплитуд сигнала ЭКГ обладает повышенной информативностью к характеру ритма сердца и позволяет построить эффективный метод распознавания ШРС и НШРС для автоматического внешнего дефибриллятора.
- 2. Предложенный способ детектирования НШРС, основанный на определении относительной частоты сигнала ЭКГ в области амплитуд изоэлектрической линии, позволяет определить большинство нешоковых видов ритма и тем самым упростить распознавание ШРС.
- 3. Предложенный способ детектирования ШРС, основанный на измерении времени перехода сигнала ЭКГ через информативную область амплитуд, позволяет достичь высокой достоверности и помехоустойчивости анализа ритма сердца, проводимого носимым внешним дефибриллятором.

#### Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием кардиограмм реальных пациентов из общедоступных баз данных и использованием общепринятого математического аппарата для обработки сигналов.

#### Внедрение результатов работы

Результаты диссертационной работы были использованы при подготовке и реализации следующих проектов кафедры биомедицинских систем МИЭТ.

- Научно-исследовательские работы по тематическому плану вуза «Моделирование биомедицинских электронных систем на базе фундаментальных принципов биоинформатики, твердотельной электроники, микроэлектроники и наноэлектроники», 2003-2004 гг.
- Научно-техническая программа «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» «Малогабаритный внешне носимый электрический кардиовертердефибриллятор, средства контроля за сердечной деятельностью в чрезвычайных ситуациях», 2003-2004 гг. (рис. 1.а).

#### • Грант РФФИ

«Автоматизированный комплекс для исследования эффективности внешней дефибрилляции/кардиоверсии при различных формах и параметрах биполярного электрического импульса», 2005-2008 гг.

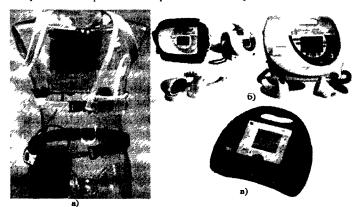


Рис. 1 Типы ВЭКД в которых использованы результаты диссертационной работы: прототип НВД (Lifecor) - а, полуавтоматический ВЭКД (УОМЗ) - б, АВД (Metrax) - в

• Договорные НИР и международное сотрудничество:

«Разработка макетного образца малогабаритного внешне носимого кардиовертера-дефибриллятора», 2002-2005 гг. Заказчик – «МЕТКАХ GmbH», г. Ротвайль, Германия (рис. 1.а).

«Разработка программного обеспечения и аппаратных средств для модернизации автоматических внешних дефибрилляторов M250 и M290», 2004-2005 гг. Заказчик - «МЕТRAX GmbH», г. Ротвайль, Германия (рис. 1.в).

«Разработка и изготовление экспериментальных образцов блоков управления и индикатора для дефибриллятора», 2000-2003 гг. Заказчик — ФГУП ПО «Уральский оптико-механический завод», г. Екатеринбург, Россия (рис. 1.б).

#### Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены и обсуждены на следующих научно-технических конференциях и семинарах:

Микроэлектроника и информатика — 2005. Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов, Москва, МИЭТ, 2005 г.

Современные информационные технологии. Международная научно-техническая конференция, Пенза, ПТИ, 2004 г.

Медико-экологические информационные технологии — 2004. VII Международная научно-техническая конференция, Курск, КГТУ, 2004 г.

Микроэлектроника и информатика — 2004. Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов, Москва, МИЭТ, 2004 г.

Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии. VI Международная научно-техническая конференция, Владимир, ВлГУ,  $2004~\mathrm{r}.$ 

Микроэлектроника и информатика — 2003. Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов, Москва, МИЭТ, 2003 г.

На научных семинарах кафедры биомедицинских систем Московского государственного института электронной техники.

#### Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано 9 научных работ.

#### Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, списка основных сокращений, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 73 наименования, приложения. Объем основного текста работы составляет 122 страницы, включая 33 иллюстрации и 16 таблиц.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приводится общая характеристика работы с обоснованием ее актуальности, практической значимости, формулировкой цели и задач исследования.

**В первой главе** представлены сведения об электрокардиографическом методе и методе дефибрилляции, а также о применении этих методов для снижения высокой смертности при шоковых ритмах сердца.

Согласно общепринятой классификации к шоковым ритмам сердца (ШРС) относятся ритмы сердца, при возникновении которых требуется незамедлительное проведение дефибрилляции: желудочковая фибрилляция (в том числе трепетание желудочков) и желудочковая тахикардия. Все многообразие остальных видов ритма относится к группе нешоковых ритмов сердца (НШРС). Достоверное распознавание ШРС и НШРС затруднено сходствами ЭКГ при шоковых и нешоковых ритмах (см. рис. 2).

Тем ни менее для автоматического детектирования ШРС предложено около десяти методов. Ряд исследователей, проведших их независимое сравнение, выделяют в качестве наиболее эффективных: метод надпороговых интервалов, метод спектрального анализа, метод фильтра желудочковой фибрилляции.

Для оценки эффективности методов распознавания ШРС и НШРС критерия: используются основных достоверность, помехоустойчивость вычислительная сложность. При достоверность включает в себя два показателя: чувствительность и избирательность. Чувствительность - это отношение числа верно распознанных эпизодов ЭКГ с ШРС, к общему числу эпизодов ШРС в анализируемом сигнале. Избирательность метода – это отношение числа верно распознанных эпизодов ЭКГ с НШРС, к общему числу эпизодов помехоустойчивостью НШРС анализируемом сигнале. Под уменьшение понимается одного из (или обоих) показателей достоверности в результате влияния помех и артефактов.

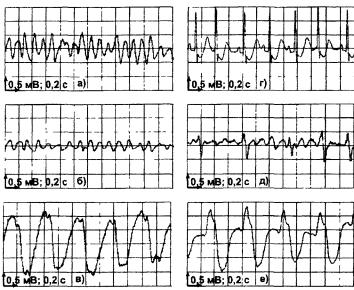


Рис. 2 Сходства ЭКГ при шоковых (слева: а-в) и нешоковых (справа: г-е) ритмах сердца

Оптимальное сочетание чувствительности и избирательности, а также наибольшая помехоустойчивость достигается в методе фильтра желудочковой фибрилляции. Решающий фактор этого метода позволяет отделить от ШРС практически все виды нешокового ритма (см. рис. 3). Исключением являются учащенный идиовентрикулярный ритм и суправентрикулярная тахикардия, для которых область решающего фактора частично совпадает с его областью значений при спектрального желудочков. Метод анализа трепетании наиболее трудоемким из трех рассматриваемых, тем ни менее он не позволяет однозначно отделить трепетание желудочков от учащенного идиовентрикулярного ритма. Метод надпороговых интервалов уступает по достоверности и помехоустойчивости двум вышеназванным, но имеет наименьшую вычислительную сложность. Высока вероятность ошибки при отделении с его помощью полиморфной и мономорфной желудочковой тахикардии от НШРС: фибрилляция предсердий. синусовая тахикардия, блокада ножки пучка Гиса.

Таким образом, каждый из методов обладает своим недостатком, не позволяющим отделить от группы ШРС тот или иной нешоковый ритм.

Это делает актуальной задачу поиска новых характеристик ЭКГ для более эффективного распознавания ШРС.

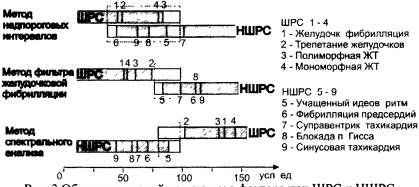


Рис. 3 Области значений решающего фактора при ШРС и НШРС методов распознавания шоковых и нешоковых ритмов сердца

второй главе представлено исследование распределения относительных частот сигнала ЭКГ по интервалам амплитуды. В проведенного результате статистического исследования, общедоступных базах кардиограмм реальных пациентов, и анализа отдельных кардиограмм с конкретным видом ритма выявлена область амплитуд сигнала ЭКГ, наиболее информативная для автоматического разделения ШРС и НШРС. Установлена величина этой области: 0,4 амплитуды наибольшего пика ЭКГ. Ее положение при большинстве видов ШРС и НШРС: симметрично относительно изоэлектрической линии. Установлено, что при некоторых редких видах НШРС информативная область амплитуд сдвинута И располагается симметрично относительно оси, параллельной изоэлектрической линии. Степень и направление сдвига варьируются в зависимости от вида ритма сердца, условий регистрации и обработки сигнала ЭКГ.

Для проведения статистического исследования использовалась база кардиограмм реальных пациентов Массачусетского технологического института (vfdb) без осуществления выборок. Записи сигнала ЭКГ, x(t), разбивались на временные отрезки, одинаковой длительности T, каждый из которых анализировался по следующему порядку (рис. 4):

На анализируемом временном отрезке  $T_j$  определялся пик ЭКГ, имеющий наибольшее абсолютное значение амплитуды - Max. Область

значений сигнала ЭКГ, [-Max; Max], разбивалась на K одинаковых по величине интервалов. Рассчитывалась относительная частота сигнала ЭКГ, для каждого интервала амплитуд:  $W_i = \frac{N_i}{N_0}$ ; где i - номер соответствующего интервала,  $i \in [1, K]$ ;  $W_i$  - относительная частота сигнала ЭКГ, приходящаяся на i -й интервал амплитуд;  $N_i$  - число дискретных отсчетов сигнала, амплитуда которых находится в i -м интервале;  $N_0$  - число дискретных отсчетов сигнала на анализируемом временном отрезке  $t \in T_i$ .



Рис. 4 Диапазон изменения амплитуд сигнала ЭКГ

Исходя из аннотаций к кардиограммам, определялся истинный вид ритма, в соответствии с которым отрезки ЭКГ разделялись на две группы: ШРС и НШРС. Для каждой группы строился обобщенный. средний арифметический, полигон относительных частот сигнала ЭКГ по интервалам амплитуды (см. рис. 5). Точки пересечения полигонов заключают между собой область амплитуд, в которой относительная частота при нешоковом ритме значительно превосходит относительную частоту сигнала ЭКГ при шоковом ритме. Эта область получила информативной области амплитуд сигнала ЭКГ. название статистическая [-0.2Max;0.2Max]. величина И положение: Установлено, что информативность области сохраняется независимо от выбора длительности анализируемого отрезка ЭКГ (T = 0.5; 2; 8 с) и числа интервалов разбиения сигнала по амплитуде (K = 20, 40, 80).

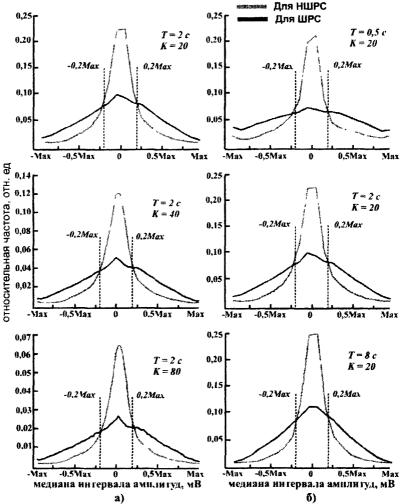


Рис. 5 Величина информативной области амплитуд при разбиении сигнала ЭКГ на: 0,5-, 2-, 8-секундные отрезки и 20 интервалов (а); 2-секундных отрезков ЭКГ на 20, 40, 80 интервалов (б)

Для уточнения величины и положения информативной области при редких видах ритма сердца проведен отдельный анализ 5 кардиограмм с ШРС и 11 кардиограмм с НШРС, длительностью по 1 мин каждая.

Кардиограммы обрабатывались по описанному выше порядку, для  $T=2\ c$  и K=20. Результаты анализа представлялись в виде гистограмм относительных частот, каждая из которых строилась как среднее арифметическое 30 гистограмм двухсекундных временных отрезков при данном виде ритма сердца (см. рис. 6).

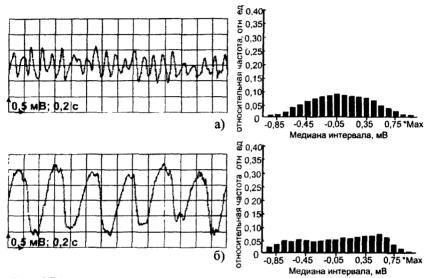


Рис. 6 Гистограмма относительных частот сигнала ЭКГ при ШРС: при желудочковой фибрилляции (а), при желудочковой тахикардии (б)

Установлено, что для всех ШРС характерен сходный вид гистограммы со следующими основными чертами: равномерное распределение, отсутствие ярких пиков, низкая величина относительных частот сигнала ЭКГ в информативной области.

При НШРС наоборот, на гистограмме легко выделить область амплитуд с высокими значениями относительных частот. Ширина этой области составляет 0,4Max, а положение в большинстве случаев соответствует центральной части распределения, то есть области изоэлектрической линии сигнала (см. рис. 7.а-б). При некоторых видах НШРС эта область может быть сдвинута из центра. При этом степень и направление сдвига зависят от вида ритма на анализируемом временном отрезке ЭКГ (см. рис. 8.б).

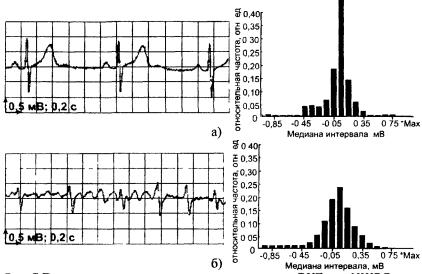


Рис. 7 Гистограмма относительных частот сигнала ЭКГ при НШРС: при нормальном синусовом ритме – а, при фибрилляции предсердий – б

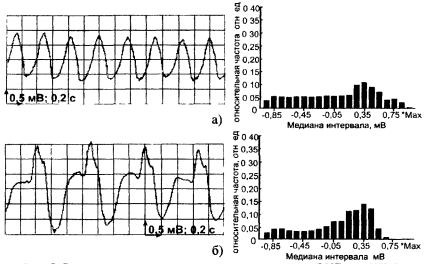


Рис. 8 Сходства гистограмм относительных частот ЭКГ при ШРС, желудочковая тахикардия (а) и НШРС, идиовентрикулярный ритм (б)

Проведенный анализ распределения относительных частот сигнала ЭКГ по интервалам амплитуд при разных видах ритма сердца, позволил установить, что в большинстве случаев вид гистограммы позволяет определить характер ритма на коротком временном отрезке ЭКГ. При этом вблизи изоэлектрической линии имеется область амплитуд, [-0,2Max;0,2Max], в которой проявляются наибольшие различия между шоковыми и нешоковыми ритмами сердца. Эта область получила название информативной. В редких случаях, информативная область сдвигается относительно изоэлектрической линии, при этом степень и направление сдвига варьируются в зависимости от вида ритма на ЭКГ.

Тем ни менее, использование относительной частоты сигнала ЭКГ, приходящейся на информативную область амплитуд, не всегда позволяет достоверно определить тип ритма сердца. Наиболее вероятно возникновение ошибки при разделении полиморфной желудочковой тахикардии (ШРС) и учащенного идиовентрикулярного ритма (рис. 8).

В *третьей главе* показана возможность использования информативной области амплитуд сигнала ЭКГ для автоматического распознавания ШРС и НШРС. Разработан линейный метод, получивший название - метод межпорогового анализа ЭКГ. Определены пороговые значения для решающего фактора и оптимальная длительность временного отрезка ЭКГ, необходимые для автоматического детектирования ШРС этим методом.

Для достижения максимальной эффективности распознавания характера ритма сердца в методе межпорогового анализа предложено использовать два последовательных этапа. Задача первого этапа - детектировать легкоразличимые НШРС с помощью простейших вычислительных операций. Задача второго- отделять трудноразличимые НШРС и определять присутствие на ЭКГ шокового ритма.

Первый этап состоит в следующем: сигнал ЭКГ, x(t), анализируется на некотором временном отрезке T (см. рис. 9):

- 1. Определяется величина и положение информативной области амплитуд: [-0,2Max;0,2Max], где Max наибольшее абсолютное значение амплитуды сигнала ЭКГ на временном отрезке T.
- 2. Рассчитывается количество дискретных отсчетов ( N ) сигнала ЭКГ, амплитуда которых находится в следующих пределах:

a) 
$$0 \le x(t) \le 0.2 \ Max \implies N_1$$
; 6)  $-0.2 \ Max \le x(t) \le 0 \implies N_2$ ;

3. Относительная частота сигнала ЭКГ в информативной области, D, составляет:  $W_D = \frac{N_1 + N_2}{N_0}$ , где  $N_0$  - общее число дискретных отсчетов сигнала ЭКГ на анализируемом временном отрезке:

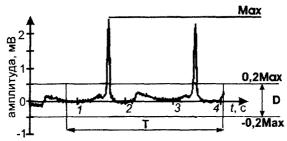


Рис. 9 Информативная область амплитуд сигнала ЭКГ

Из исследования представленного в гл. 2 следует, что рассчитанная величина относительной частоты позволяет отделить легкоразличимые нешоковые ритмы сердца. Для этого  $W_D$  сравнивается с порогом  $P_1$ : если  $W_D > P_1$ , ритм сердца на анализируемом временном отрезке T считается нешоковым; если  $W_D \le P_1$ , ритм считается неопределенным и анализ продолжается на втором этапе.

Если после первого этапа ритм сердца остался неопределенным, то либо на ЭКГ присутствует трудноотделимый вид НШРС, например, учащенный идиовентрикулярный ритм, либо информативная область сдвинута относительно изоэлектрической линии. Следовательно, перед проведением второго этапа анализа в положение информативной области необходимо ввести корректировку.

Для этого целесообразно использовать уже полученные значения  $N_1,N_2$  и  $N_0$ . Установлено, что для ШРС характерно  $N_1\approx N_2$ . В тоже время для НШРС в случае сдвига информативной области характерно  $|N_1-N_2|>0$  (сравнить рис. 8.а и рис. 8.б). Для расчета корректировки, M, положения информативной области относительно изоэлектрической линии эмпирически установлена формула:

$$M = k * Max * \frac{N_1 - N_2}{N_0} \tag{1}$$

Таким образом, формула (1) позволяет корректировать положение информативной области для НШРС, оставляя ее неизменной для ШРС.

Безразмерный коэффициент k определяет степень сдвига. В диссертационной работе установлено его оптимальное значение, которое находится в пределах  $\left[0,5\dots0,6\right]$ . Для метода межпорогового анализа выбрано значение k=0,55.

На втором этапе распознавания ШРС анализируется сигнал ЭКГ тех временных отрезков T, для которых вид ритма остался неопределенным после первого этапа. Решающим фактором здесь является среднее время перехода,  $S_D$ , — это время, в течение которого сигнал ЭКГ каким-либо образом переходит через информативную область амплитуд. При этом величина и положение информативной области известны с учетом корректировки: D = [-0.2 Max + M; 0.2 Max + M] (см. рис. 10).

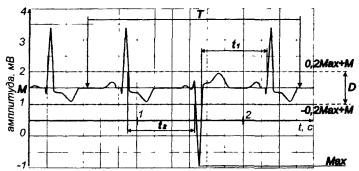


Рис. 10 Время перехода сигнала ЭКГ через информативную область

Для случая, представленного на рис. 10,  $S_D = (t_1 + t_2)/2$ .

Рассчитанная величина среднего времени межпорогового перехода позволяет окончательно определить характер ритма сердца на анализируемом отрезке ЭКГ. Для этого  $S_D$  сравнивается с порогом  $P_2$ : если  $S_D > P_2$ , ритм сердца на анализируемом временном отрезке считается нешоковым; если  $S_D \leq P_2$ , ритм сердца на анализируемом отрезке считается шоковым.

Важным параметром любого метода автоматического распознавания ШРС и НШРС является длительность временного

ЭКГ, необходимая для принятия решения. Считается отрезка оптимальным если, шоковый ритм распознается в течение 10 секунд с момента возникновения, так как дальнейшая задержка в проведении vспеха терапии. лефибрилляции **уменьшает** вероятность диссертационной работе проведено исследование, - каким образом изменяется информативность решающего фактора метода,  $S_{\scriptscriptstyle D}$ , в временного отрезка зависимости длительности При качестве показателя используемого лля анализа. этом использовалась разность совокупного информативности времени перехода при нешоковых,  $S_D(nonsh)$ , и шоковых,  $S_D(sh)$ , ритмах сердца:  $\Delta S = S_D(nonsh) - S_D(sh)$ , (см. рис. 11).



Рис. 11 Зависимость информативности среднего времени межпороговых переходов от длительности временного отрезка ЭКГ, используемого для анализа ритма сердца

Установлено, что решающий фактор второго этапа метода межпорогового анализа позволяет эффективно детектировать ШРС на временных отрезках длительностью 2 с и более. Таким образом, для определения характера ритма данным методом выбрана минимально допустимая длительность временного отрезка ЭКГ,  $T=2\ c$ .

Для выбора порогового значения,  $P_1$ , первого этапа метода проведено его исследование на кардиограммах реальных пациентов базы данных Крейтонского университета (cudb). Порог определялся для временных отрезков ЭКГ длительностью  $T=2\ c$ . При этом полагалось,

если рассчитанная относительная частота превышала заданный порог, то ритм на ЭКГ - нешоковый, в остальных случаях, ритм на ЭКГ считался шоковым.

На рис. 12 представлены кривые зависимости чувствительности и избирательности этапа от величины порогового значения решающего фактора. При величине порога 0,57 отн. ед чувствительность метода составляла 100 %. То есть, все шоковые ритмы были достоверно определены. Избирательность метода при этом значении порога составляла 74%. То есть, почти три четверти всех НШРС из используемой базы данных кардиограмм были достоверно распознаны. Следовательно, для детектирования легкоразличимых НШРС следует использовать порог  $P_1 = 0.57$  отн. ед. или больше. При этом нужно приводит учитывать. увеличение порога уменьшению избирательности метода, а значит, большее число НШРС попадает во второй этап анализа ритма.

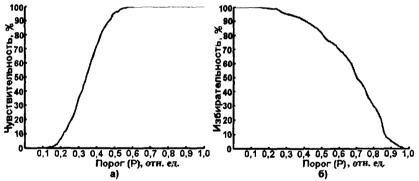


Рис. 12 Зависимость показателей достоверности детектирования НШРС от порогового значения относительной частоты:

а – чувствительность; б – избирательность

Для выбора величины порога,  $P_2$ , второго этапа метода проведено его исследование на кардиограммах реальных пациентов. Использовались минутные записи ЭКГ, для каждого двухсекундного отрезка которых, определялось значение решающего фактора. Исходя из этого, рассчитывались статистические параметры среднего времени межпорогового перехода при разных видах ритма сердца.

В группе ШРС среднее время межпорогового перехода достигало наибольшего значения при полиморфной желудочковой тахикардии —

81 мс (рис. 13, «3»). При нешоковых ритмах сердца среднее время межпорогового перехода достигало наименьшего значении при суправентрикулярной тахиаритмии – 98 мс (см. рис. 13, «7»).

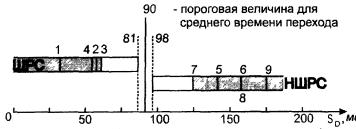


Рис. 13 Среднее арифметическое значение решающего фактора второго этапа анализа ритма при разных видах ШРС и НШРС

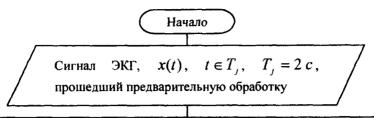
Полученные данные свидетельствуют (сравнить рис. 3 и рис. 13), что на втором этапе анализа даже такие трудноразличимые виды ритма как суправентрикулярная тахикардия (7), фибрилляция предсердий (6) и учащенный идиовентрикулярный ритм (5) будут верно определены как НШРС.

Для решающего фактора второго этапа анализа ритма сердца выбрано значение порога:  $P_2 = 90 \, \text{мc}$ .

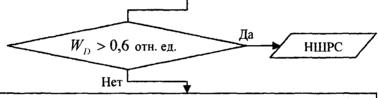
С учетом найденных пороговых величин и оптимальной длительности временного отрезка ЭКГ, требуемых для распознавания характера ритма сердца, двухэтапный метод межпорогового анализа ЭКГ представлен в виде блок-схемы на рис. 14.

В *четвертой главе* представлены результаты сравнения эффективности работы метода межпорогового анализа с ранее предложенными методами детектирования ШРС.

Для сравнения достоверности распознавания ШРС и НШРС различными методами использовались кардиограммы реальных пациентов из базы данных желудочковых тахиаритмий Крейтонского университета (cudb - 35 записей ЭКГ по 8 минут) и базы данных желудочковых аритмий Массачусетского технологического института (vfdb - 22 записи ЭКГ по 30 минут). При этом использовались полные базы данных без осуществления выборки. А истинным видом ритма считался тот, который указан в аннотациях к базам данных.



Решающий фактор первого этапа:  $W_D = (N_1 + N_2)/N_0$ , где  $N_1/N_0$  - относительная частота x(t) в диапазоне амплитуд [0;0,2Max],  $N_2/N_0$  - относительная частота x(t) в диапазоне амплитуд [-0,2Max;0],  $Max = \max |x(t)|$ ;



Информативная область D = [-0.2Max + M; 0.2Max + M], с учетом корректировки положения  $M = 0.55*Max*\frac{(N_1 - N_2)}{N_0}$ 

Решающий фактор второго этапа,  $S_D$  - среднее время в течение которого сигнал ЭКГ каким либо образом переходил через область амплитуд D, на временном отрезке T,

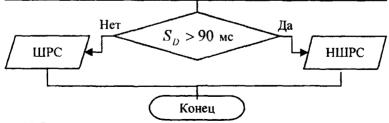


Рис. 14 Блок-схема метода межпорогового анализа ЭКГ, разработанного для распознавания ШРС и НЩРС в ВЭКД

Полученные величины чувствительности и избирательности свидетельствуют о преимуществе метода межпорогового анализа над ранее предложенными методами. Метод межпорогового анализа обладает наивысшей избирательностью (93,3 %) и второй по величине чувствительностью (71,1 %), см. табл. 1.

Табл. 1 Показатели достоверности распознавания ШРС и НШРС линейными методами

Метод	Показатель достоверности, %					
детектирования	Чувствительность			Избирательность		
ШРС	VFDB	CUDB	САЧ	VFDB	CUDB	САИ
Метод межпорогового анализа	74,3	67,8	71,1	94,4	92,2	93,3
Метод надпороговых интервалов	86,9	84,0	85,5	56,1	60,6	58,4
Метод спектрального анализа	71,8	58,6	65,2	93,3	89,8	91,6
Метод фильтра желудочковой фибрилляции	74,7	66,3	70,5	92,3	88,6	90,5

Тот же самый набор кардиограмм использовался и для сравнения помехоустойчивости различных методов детектирования ШРС. При этом каждый двухсекундный отрезок ЭКГ совмещался с помехой одного из четырех видов: артефакт движения грудной клетки, артефакт электрической активности мышц, помеха смещения электрода, помеха сетевой наводки. На совмещенных с помехами кардиограммах проводилось тестирование сравниваемых методов. При этом регистрировалось уменьшение достоверности детектирования ШРС.

Наиболее сильное снижение чувствительности наблюдалось в методе спектрального анализа и в методе фильтра желудочковой фибрилляции. При влиянии артефакта электромиограммы этот показатель снижался до нуля. Столь же значительное снижение

чувствительности в этих методах наблюдалось и при влиянии помехи сетевой наводки (см. рис. 15).

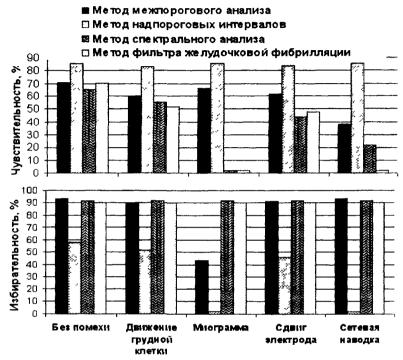


Рис. 15 Снижение чувствительности и избирательности методов распознавания ШРС и НШРС в результате влияния помех и артефактов

В методе межпорогового анализа показатель чувствительности уменьшался менее значительно. Его величина, в среднем, составляла 60 %. Исключением являлась помеха сетевой наводки, при которой чувствительность метода снижалась до 40 %. Наиболее стабильным обладал показателем чувствительности метод надпороговых интервалов. Его величина не падала ниже 80%. Однако, метод интервалов имел наименее стабильный показатель избирательности. При влиянии помех электромиограммы и сетевой наводки он снижался до нуля. В тоже время остальные методы, и в том числе метод межпорогового анализа демонстрировали сравнительно стабильную избирательность (см. рис. 15).

Таким образом, метод межпорогового анализа является наиболее помехоустойчивым. В отличие от других методов, его показатели достоверности не снижаются до нуля ни при одном из четырех видов помехи. При этом наиболее ярко преимущество метода проявляется при влиянии артефакта электромиограммы, помехи смещения электрода и сетевой наводки.

В работе проведена диссертационной также оценка ШРС. распознавания Этот вычислительной сложности методов эффективности приобретает особенное значение при круглосуточном мониторинге ЭКГ носимыми устройствами, из-за высоких требований к энергосбережению и портативности. В табл. 2 представлены данные о количестве вычислительных операций (в расчете на один дискретный отсчет сигнала ЭКГ) необходимых для принятия решения наиболее эффективными методами.

Табл. 2 Количество операций сложения (сл.) и умножения (умн.), приходящихся на один дискретный отсчет сигнала ЭКГ, необходимое для принятия решения разным методам распознавания ШРС

Межпорогового Фильтра Надпоро-Спектражелудочанализа Метол говых льного ковой фибинтервалов Этап 1 Этап 2 анализа рилляции Вычисли-2,0 сл. и 3,5 сл. 1,3 сл. 2,3 сл. тельная 1,1 сл. 2,1 умн. сложность

Таким образом, метод межпорогового анализа, предлагаемый для автоматического распознавания ШРС и НШРС, реализуется простыми вычислительными операциями не требует высоких производительности. Он позволяет достоверно определять большинство НШРС минимальным набором вычислительных операций уже на первом этапе, сравниваясь по ресурсозатратам с наименее трудоемким методом надпороговых интервалов. В целом метод имеет такую же вычислительную сложность, как и метод фильтра желудочковой фибрилляции, и меньшую чем метод спектрального анализа. При этом он превосходит конкурентов по достоверности детектирования ШРС и помехоустойчивости. Следовательно, метод межпорогового анализа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к НВД, в большей мере, чем ранее предложенные методы.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- 1. В диапазоне амплитуд сигнала ЭКГ установлено положение и ширина узкой области, обладающей повышенной информативностью для распознавания ШРС и НШРС на коротких временных отрезках;
- 2. Установлено, что время, в течение которого сигнал ЭКГ каким-либо образом переходит через выделенную узкую область амплитуд, позволяет распознавать трудноразделимые виды ШРС и НШРС на коротких временных отрезках;
- 3. Разработан новый линейный алгоритм достоверность, помехоустойчивость и вычислительная сложность которого удовлетворяют условиям, необходимым для его применения в автоматических и носимых внешних дефибрилляторах.
- 4. Результаты диссертационной работы были использованы при разработке макетного образца малогабаритного НВД фирмы «МЕТRAX», при разработке программного обеспечения для модернизации АВД М250 и М290 фирмы «МЕТRAX», при разработке экспериментальных образцов блока управления дефибриллятора ФГУП ПО «Уральский оптико-механический завол».

#### СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1. Востриков В.А., Горбунов Б.Б., Гусев А.Н., Жирин Д.В., Каменский С.А., Селищев С.В. Медико-технические принципы проектирования внешних электрических дефибрилляторов с биполярной формой импульса // Известия ВУЗов. Электроника, 2005, № 4-5, стр. 173-178.
- 2. Каменский С.А. Распределение амплитуд сигнала ЭКГ при шоковых и нешоковых ритмах сердца // Известия ВУЗов. Электроника, 2005, № 2, стр. 81-88.
- 3. Горбунов Б.Б., Гусев А.Н., Каменский С.А., Селищев С.В. Сравнение эффективности и помехоустойчивости алгоритмов распознавания шоковых ритмов сердца // Медицинская техника, 2004, № 3, стр. 22-28.
- 4. Каменский С.А. Использование метода межпороговых временных интервалов для детектирования шоковых ритмов сердца //

Тезисы докладов 11-й Всероссийской межвузовской научнотехнической конференции студентов и аспирантов, «Микроэлектроника и информатика - 2005», Москва, МИЭТ, 2005, стр. 143.

- 5. Каменский С.А. Линейный метод детектирования шоковых ритмов сердца // Сборник статей международной научно-технической конференции «Современные информационные технологии», Пенза, ПТИ, 2004, стр. 269-271.
- 6. Каменский С.А. Распределение амплитуд сигнала ЭКГ при нешоковых ритмах сердца // Сборник материалов VII Международной научно-технической конференции, «Медико-экологические информационные технологии 2004», Курск, КГТУ, 2004, стр. 31-34.
- 7. Каменский С.А. Распределение амплитуд сигнала ЭКГ при детектировании шоковых ритмов сердца // Тезисы докладов 11-й Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов, «Микроэлектроника и информатика 2004», Москва, МИЭТ, 2004, стр. 135.
- 8. Каменский С.А., Селищев С.В. Сравнительная оценка эффективности работы и помехоустойчивости линейных алгоритмов распознавания шоковых ритмов сердца // VI Международная научнотехническая конференция, «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии», Владимир, ВлГУ, 2004, стр. 50-53.
- 9. Каменский С.А. Определение перспективных технических параметров носимого внешнего дефибриллятора // Тезисы докладов 10-й Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов, «Микроэлектроника и информатика 2003», Москва, МИЭТ, 2003, стр. 124.

Подписано в печать:

Формат 60х84 1/16. Уч.-изд.л. В. Тираж 100 экз. Заказ 32. Отпечатано в типографии ИПК МИЭТ. 124498, Москва, г.Зеленоград, проезд4806, д.5, стр1, МИЭТ.

## **#23572**

РНБ Русский фонд

2006-4 25043