

На правах рукописи

СЕРГЕЙЧИК Оксана Ивановна

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ
СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ОБРАБОТКИ
КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

05.13.18 - математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тюмень - 2007

Работа выполнена в Институте проблем освоения Севера СО РАН и филиале ГУ НИИ кардиологии ТНЦ СО РАМН «Тюменский кардиологический центр»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Цибульский Владимир Романович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Шлык Юрий Константинович

кандидат физико-математических наук, доцент
Мосягин Вячеслав Евгеньевич

Ведущая организация: Институт криосферы Земли СО РАН, г.Тюмень

Защита диссертации состоится « 21 » февраля 2007 г. в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета К 212.274.01 при Тюменском государственном университете по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Перекопская, 15а, аудитория 217.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тюменского государственного университета.

Автореферат разослан «___» января 2007 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Бутакова Н.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

Распространенность сердечно-сосудистых заболеваний, и в частности ишемической болезни сердца, продолжает расти, что вызывает необходимость разработки более эффективных современных средств их диагностики и лечения.

Первичная диагностика ишемической болезни сердца опирается на запись электрокардиограммы (ЭКГ), и лишь затем лечащий врач привлекает дополнительно данные анализа кардиологических показателей, полученных другими методами исследования.

Несмотря на широкий охват исследований, оснащенность высокоразрешающей аппаратурой, одной из актуальных проблем кардиологии остается получение максимально полной информации об электрическом потенциале сердца, на основании которой можно было бы расширить диагностику патологических состояний миокарда, его электрофизиологических свойств [Беленков Ю.Н., Карпов Р.С., Тихоненко В.М., Чазов Е.И. и мн. др.].

Развитие компьютерных технологий, современных методов цифровой обработки данных и клинические задачи обусловили разработку и использование в повседневной практике врача компьютерных электрокардиографических средств. Цифровые методы обработки сигнала существенно повысили качество обработки ЭКГ, позволили уменьшить вносимые в сигнал искажения и подойти к электрокардиографической диагностике с позиции количественной оценки изменений ЭКГ [Баевский Р.М., Жемайтите Д., Исаханян Г.С., Медведев М.М., Миронова Т.Ф., Рябыкина Г.В., Чирейкин Л.В., Титомир Л.И., Фитилев С.Б., Явелов И.С., Acelrod S. et al., Hurst J.Willis., Maliani A.]. Вместе с тем наметившаяся в последнее десятилетие тенденция интенсивного внедрения компьютерного анализа ЭКГ и других кардиологических рядов выдвигает задачи увеличения точности и чувствительности, выявления функциональных зависимостей

между традиционными параметрами этих рядов и показателями принятия решений при диагностике ишемической болезни сердца и других кардиологических заболеваний. Перспективным методом решения этих задач во многих областях медицины является спектральный анализ с привлечением средств современных информационных технологий. Исследованию частотных методов посвящены работы Ананченко В.Н., Белоцерковского О.М., Жаринова О.И., Кузнецова Н.А., Миронова С.Г., Немирко А.П., Нидеккер И.Г., Никифорова П.Л., Прилуцкого Д.А., Рагозина А.Н., Селищева С.В., Филиста С.А., Хаютина В.М., Цибульского В.Р., Blowers P. et al., Fokaru O. et al., Lombardi F. et al., Olson Dana J. et al., Sun Ying et al.

В связи с этим актуальны поиск, разработка и всесторонние исследования новых математических моделей и реализация более сложных, точных и надежных компьютерных алгоритмов обработки временных кардиологических рядов для интерпретации полученных результатов, дающих основания для правильной постановки диагноза, общей оценки состояния сердечно-сосудистой системы испытуемого и функционального класса его заболевания.

Целью исследования является разработка математических моделей, алгоритмов и программного обеспечения для достоверной диагностики ишемической болезни сердца на основе анализа временных кардиологических рядов по данным записей электрокардиограммы, частоты сердечных сокращений и артериального давления.

Задачи исследования

1. Анализ и обобщение существующих подходов для моделирования временных кардиологических рядов российскими и зарубежными научными школами в области компьютерной диагностики.

2. Разработка методики и построение статистически достоверного временного кардиологического ряда на основе идеализированной нормальной электрокардиограммы, в том числе в отведениях.

3. Разработка моделей, алгоритмов, определения параметров и спектральных характеристик временных кардиологических рядов на основе рядов электрокардиограммы, артериального давления, частоты сердечных сокращений и выбор фильтров для их исследования.

4. Разработка программного обеспечения и проведение вычислительных экспериментов для подтверждения работоспособности этих методик и моделей.

Научная новизна и теоретическая значимость

1. Предложена новая модель временного кардиологического ряда на основе электрокардиограммы, записей артериального давления и частоты сердечных сокращений больного пациента.

2. Предложен алгоритм спектрального анализа временного кардиологического ряда повышенной точности путем сравнения спектров временного ряда больного со спектром нормального (идеализированного) временного ряда.

Практическая значимость

1. Предложенные алгоритмы спектрального анализа временных кардиологических рядов (ВКР) на основе ЭКГ, артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС) позволяют врачу-исследователю более уверенно проводить диагностику целого ряда нарушений деятельности сердца.

2. Кроме того, для исследования ВКР определены параметры цифровых фильтров, обеспечивающие значительную помехоустойчивость всех последующих этапов анализа за счет улучшения отношения сигнал/шум без значимых искажений формы полезного сигнала.

3. Созданный банк данных ЭКГ, АД, ЧСС, в том числе данных пациентов с северных территорий области, имеет самостоятельное значение, так как позволяет проводить моделирование и исследование эффективности других алгоритмов анализа кардиологических рядов.

На защиту выносятся:

1. Анализ и обобщение существующих подходов для моделирования временных кардиологических рядов (ВКР).
2. Разработка методики построения статистически достоверного ВКР на основе идеализированной нормальной ЭКГ, в том числе в отведениях.
3. Разработка алгоритмов и методики для определения параметров спектральных характеристик ВКР основе рядов ЭКГ, артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС).
4. Разработка программного обеспечения, выбор фильтров и проведение вычислительных экспериментов для подтверждения работоспособности и надежности полученных в работе моделей, алгоритмов и методик.

Внедрение в практику

Результаты исследования внедрены в клиническую практику филиала ГУ НИИ кардиологии ТНЦ СО РАМН «Тюменский кардиологический центр». Полученные в работе данные используются в научной работе и учебном процессе на кафедре терапии ГОУ ВПО Тюменская медицинская академия Росздрава.

Апробация работы

Материалы диссертационной работы были представлены на 17-й Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» (Кострома, 2004), научной конференции «Диагностика и лечение нарушений сердечного ритма» (Тюмень, 2005), 18-й Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» (Кострома, 2005), семинарах ТюмГУ, ИПОС СО РАН, филиале ГУ НИИ кардиологии ТНЦ СО РАМН «Тюменский кардиологический центр».

Публикации

Основное содержание работы отражено в 10 публикациях, в том числе 1 издании, рекомендованном ВАК.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, списка литературы, приложения. Работа изложена на 110 страницах, включая 45 рисунка и 11 таблиц. Список литературы насчитывает 189 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы ее цель и задачи, показаны научная новизна, практическая значимость, перечислены основные результаты работы.

В первой главе проведен аналитический обзор современного состояния применения методов спектрального анализа в обработке кардиологических рядов. Рассмотрены различные технологии автоматической диагностики ишемической болезни сердца ведущими научными коллективами. В результате отмечена необходимость поиска моделей и алгоритмов спектрального анализа, удобных в использовании и отвечающих требованию увеличения чувствительности и точности анализа ВКР.

В отличие от перечисленных школ и исследователей, в данной работе поставленную цель предлагается осуществлять при помощи сравнения спектрального анализа ВКР, имеющих изменения из-за заболеваний кардиологического характера, с некоторым эталоном. Методически предлагается сравнивать спектр ВКР больного с некоторым стандартом, построенным на основе понятия нормальных ЭКГ и временных рядов ЭКГ здоровых людей. Этот прием позволяет повысить чувствительность и достоверность диагноза кардиологических заболеваний.

Предполагается, что, например, идеализированные нормальные ЭКГ, поступив на вход некоторой системы (больной человек), претерпевают изменения, и это отражается в спектральных характеристиках рядов на выходе.

Таким образом, может быть принята достаточно простая структура модели с одним входом, одним выходом и одним некоррелированным шумом

на выходе. Последний образуется как аппаратный и не связан с изменениями, происходящими в организме больного человека.

Во второй главе описаны модели ВКР на основе ЭКГ, ЧСС, АД и алгоритмы их исследования методами анализа временных рядов.

Пусть ВКР нормальной (идеализированной) стандартной ЭКГ обозначается как $U_n(t)$, ВКР ЭКГ больного – $U_б(t)$, некоррелированный шум – $\eta(t)$. Схематично модель показана на рис. 1.

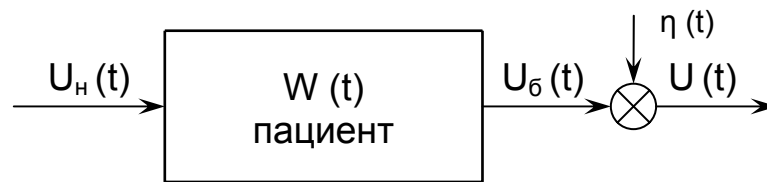


Рис. 1. Блок-схема модели временного кардиологического ряда

Наблюдаемую ЭКГ $U(t)$ представим в виде $U_n(t) = U(n\Delta t)$, где $U_n(t)$ - дискретная последовательность отсчетов, где n изменяется, например, от 0 до $N-1$, $N=1000$. Если $f = m\Delta f$, $\Delta f = 1/N\Delta t$, где $m = 0, 1, \dots, N-1$ - индекс отсчетов частотной характеристики и $\Delta t = 1$ сек, тогда за обобщенную линейную модель рассматриваемых процессов принимается

$$U_n(t) = U_{n0}(t) + \sum_{m,n=0}^{N-1} U_{nm}(t) \exp(-j2\pi \cdot n \cdot m / 1000) + \eta_n(t), \quad (1)$$

где $U_{n0}(t)$ - тренд, выраженный полиномом 1-й степени; гармоническая часть представляет собой дискретное преобразование Фурье, в случае если ряд представляет собой сумму вещественных незатухающих синусоид - может быть представлена спектром Прони:

$$\hat{U}_n = \sum_{m=1}^p U_m(t) \cos(2\pi \cdot f_m \cdot n \cdot \Delta t + \theta_m); \quad (2)$$

где p - количество гармоник в исходном процессе; θ_m - фаза каждой из них;

$\eta_n(t)$ - остаточный ряд.

В результате обработки серий электрокардиограмм здоровых людей и изучения статистик основных параметров нормальной ЭКГ введено понятие, получены основные параметры и статистические характеристики нормального (идеализированного) ВКР на основе электрокардиограммы.

На рис. 2 приведены фрагмент и основные параметры такого ряда со средними значениями интервалов, амплитуд зубцов и сегментов.

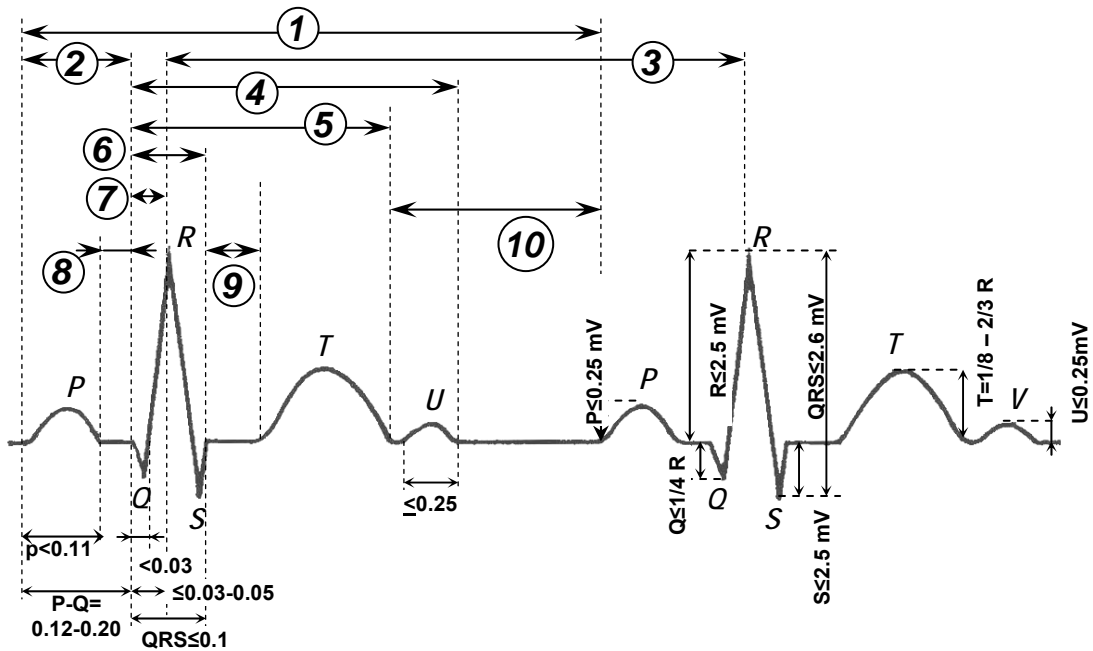


Рис. 2. Нормальная электрокардиограмма:

1 – интервал P-P; 2 – интервал P-Q; 3 – интервал R-R; 4 – интервал Q-U;
 5 – интервал Q-T; 6 – комплекс QRS; 7 – интервал Q-R; 8 – сегмент P-Q;
 9 – сегмент S-T; 10 – интервал T-P

В табл. 1 приведены основные статистические характеристики такого ряда, на рис. 3 - амплитудофазочастотные спектры, полученные методами быстрого преобразования Фурье (БПФ) и Прони. Вторым методом предложено использовать для более уверенной идентификации реальных гармоник в спектре мощности.

Статистические характеристики ВКР нормальной ЭКГ

Количество точек	1000
Минимальное значение	-0,294120
Максимальное значение	1,000000
Диапазон	1,294120
Среднее значение	0,102480
Стандартное отклонение (несмещенная оценка)	0,188930
Стандартное отклонение (центрированная оценка)	0,188835
Медиана	0,011765
Момент порядка 1	0,000000
Момент порядка 2	0,035659
Момент порядка 3	0,014445
Момент порядка 4	0,011673
Момент порядка 5	0,008663
Средний квадрат	0,046161
Удельная энтропия	0,023080

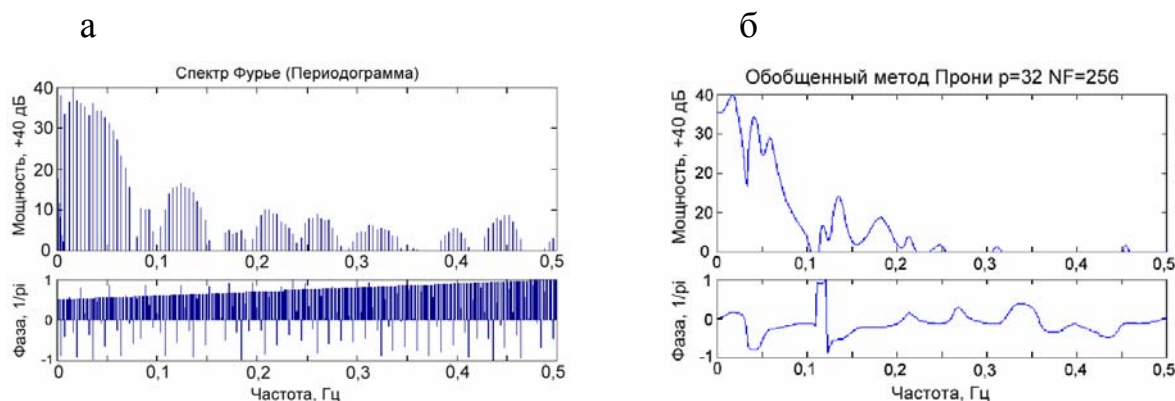


Рис. 3. Амплитудофазочастотные спектры ВКР нормальной ЭКГ, полученные методами: а – быстрого преобразования Фурье; б – Прони

На основе полученных статистик модель ВКР нормальной ЭКГ имеет вид:

$$U_n(t) = (0,014 \cdot t - 2,816) + \sum_{n=0}^{999} U_{nm} \exp(-j2\pi \cdot n \cdot t / 1000). \quad (3)$$

В практике клинического анализа часто применяют проекции суммарного вектора электродвижущей силы сердца на ортогональные

плоскости. Они помогают более уверенно выделять изменения отдельных сегментов ЭКГ, носят название «отведения ЭКГ». Наиболее часто применяются отведения AVF и V₂.

В работе предложено синтезировать модели нормальных (идеализированных) ВКР на основе ЭКГ в указанных отведениях.

Далее приведены вид, статистики, амплитудофазочастотные спектры БПФ и Прони и модели ВКР на основе ЭКГ в указанных отведениях.

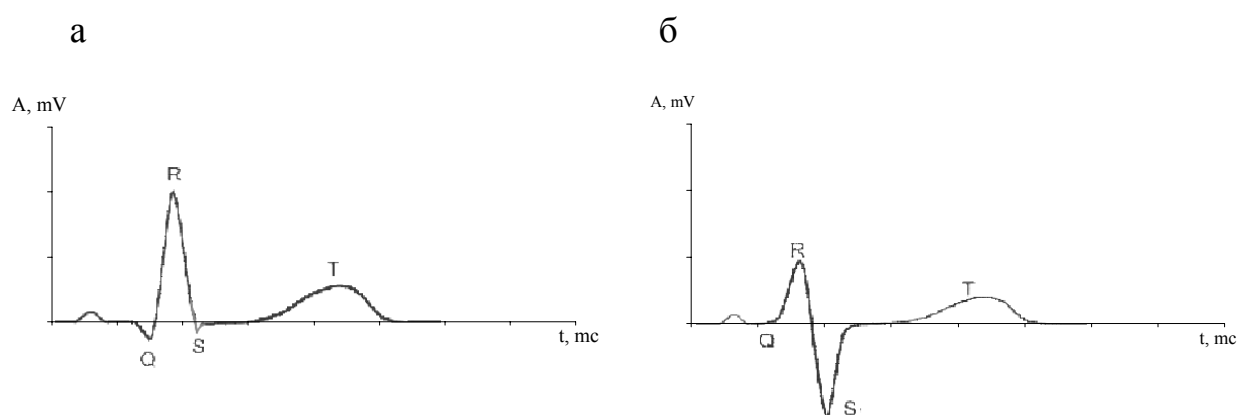


Рис. 4. ВКР на основе нормальной ЭКГ в отведениях: а – aVF; б – V₂

Таблица 2

**Статистические характеристики ВКР нормальной ЭКГ
в отведениях aVF; V₂**

	aVF	V ₂
Количество точек	1000	1000
Минимальное значение	-0,231631	-1,047360
Максимальное значение	0,891809	0,645789
Диапазон	1,123421	1,693149
Среднее значение	0,000000	0,000000
Стандартное отклонение (несмещенная оценка)	0,211767	0,242697
Стандартное отклонение (центрированная оценка)	0,211661	0,242576
Медиана	-0,105661	-0,029320
Момент порядка 1	0,000000	0,000000
Момент порядка 2	0,044800	0,058843

Момент порядка 3	0,023551	-0,021221
Момент порядка 4	0,018815	0,031365
Момент порядка 5	0,014764	-0,022303
Средний квадрат	0,044800	0,058843
Удельная энтропия	0,022400	0,029422

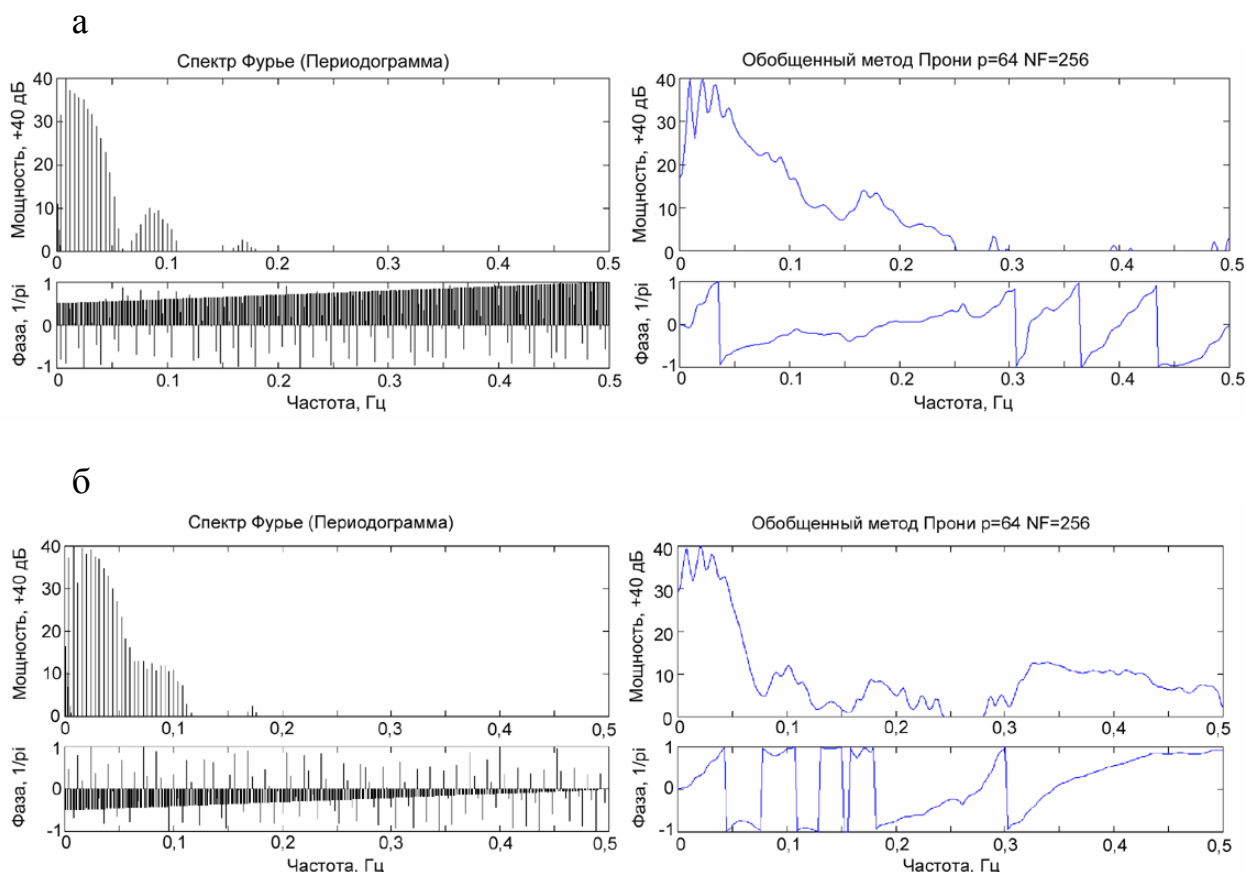


Рис. 5. Амплитудофазочастотные спектры ВКР нормальной ЭКГ, полученные методами БПФ и Прони, в отведениях: а – aVF; б – V₂

По полученным статистикам модель ВКР на основе нормальной ЭКГ в отведении aVF имеет вид:

$$U_n(t) = (0,009 \cdot t - 1,831) + \sum_{n=0}^{999} U_{nm}(t) \exp(-j2\pi \cdot n \cdot m / 1000). \quad (4)$$

По полученным статистикам модель ВКР на основе нормальной ЭКГ в отведении V₂ имеет вид:

$$U_n(t) = (-0,015 \cdot t + 2,945) + \sum_{n=0}^{999} U_{nm} \exp(-j2\pi \cdot n \cdot m / 1000). \quad (5)$$

Полученные модели могут быть использованы при проведении сравнительного анализа спектров.

Кроме того, известно, что корректность применения принятой выше модели для рядов по больным определяется прежде всего стационарностью выборок ВКР и рядом других статистических свойств. В работе приведены результаты их исследования на реальных ЭКГ, ЧСС и АД и сделан вывод о достаточной их стационарности в исследуемом промежутке.

На рис. 6 приведен ВКР на основе ЭКГ в отведениях: а – aVF, б – V₂ - для больного острым инфарктом миокарда. Далее представлены статистики (табл. 3), амплитудофазочастотные спектры (рис. 7) и эмпирическая модель (6, 7).

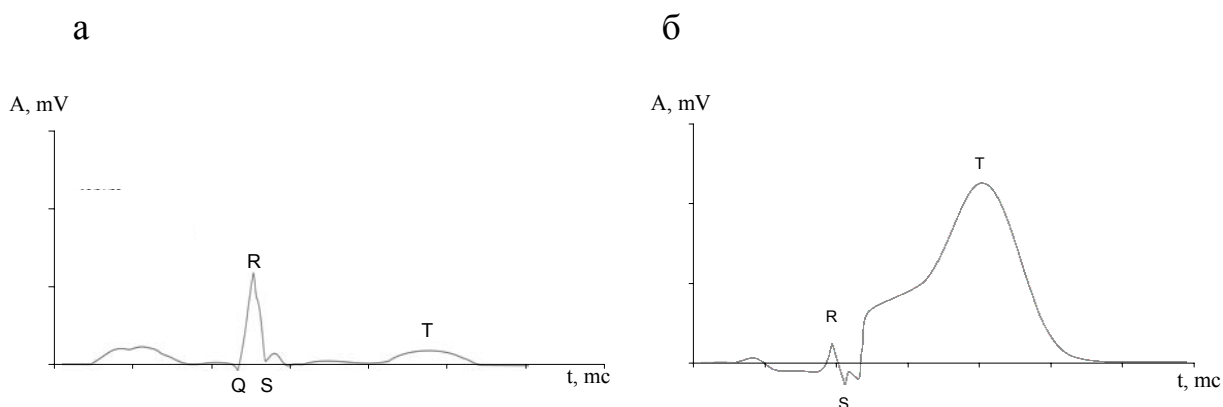


Рис. 6. Временной кардиологический ряд на основе ЭКГ больного в отведениях: а – aVF; б – V₂

Таблица 3

Статистические характеристики ВКР ЭКГ больного в отведениях: а–aVF; б– V₂

	aVF	V ₂
Количество точек	1000	1000
Минимальное значение	-0,142248	-0,313723
Максимальное значение	0,917970	0,831506
Диапазон	1,060218	1,145229
Среднее значение	-0,000000	-0,000000
Стандартное отклонение (несмещенная оценка)	0,140482	0,309028

Стандартное отклонение (центрированная оценка)	0,140411	0,308873
Медиана	-0,047442	-0,169927
Момент порядка 1	0,000000	0,000000
Момент порядка 2	0,019715	0,095403
Момент порядка 3	0,010753	0,041033
Момент порядка 4	0,008164	0,033214
Момент порядка 5	0,006324	0,023172
Средний квадрат	0,019715	0,095403
Удельная энтропия	0,009858	0,047701

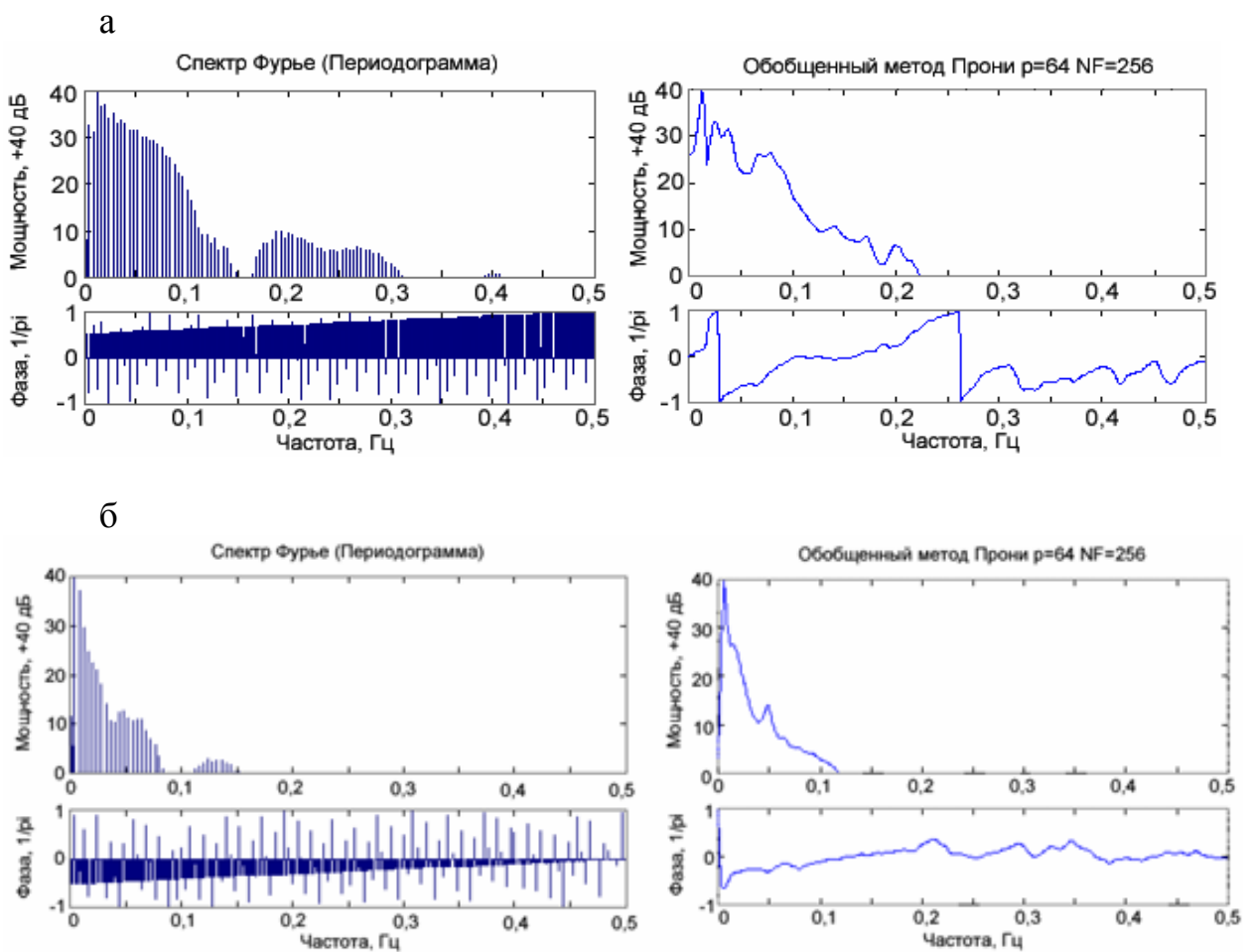


Рис. 7. Амплитудофазочастотные спектры ЭКГ больного, полученные методами БПФ и Прони, в отведениях: а – аVF; б – V₂

По полученным статистикам модель ВКР на основе ЭКГ больного в отведении аVF имеет вид:

$$U_n(t) = (0,007 \cdot t - 1,442) + \sum_{n=0}^{999} U_{nm} \exp(-j2\pi \cdot n \cdot m/1000) + \eta_n(t). \quad (6)$$

По полученным статистикам модель ВКР на основе ЭКГ больного в отведении V_2 имеет вид:

$$U_n(t) = (-0,020 \cdot t + 4,007) + \sum_{n=0}^{999} U_{nm} \exp(-j2\pi \cdot n \cdot m / 1000) + \eta_n(t). \quad (7)$$

На рис. 8 приведен ВКР на основе ЧСС больного, $N=8706$. В работе представлены статистики, амплитудофазочастотные спектры и эмпирическая модель (8).

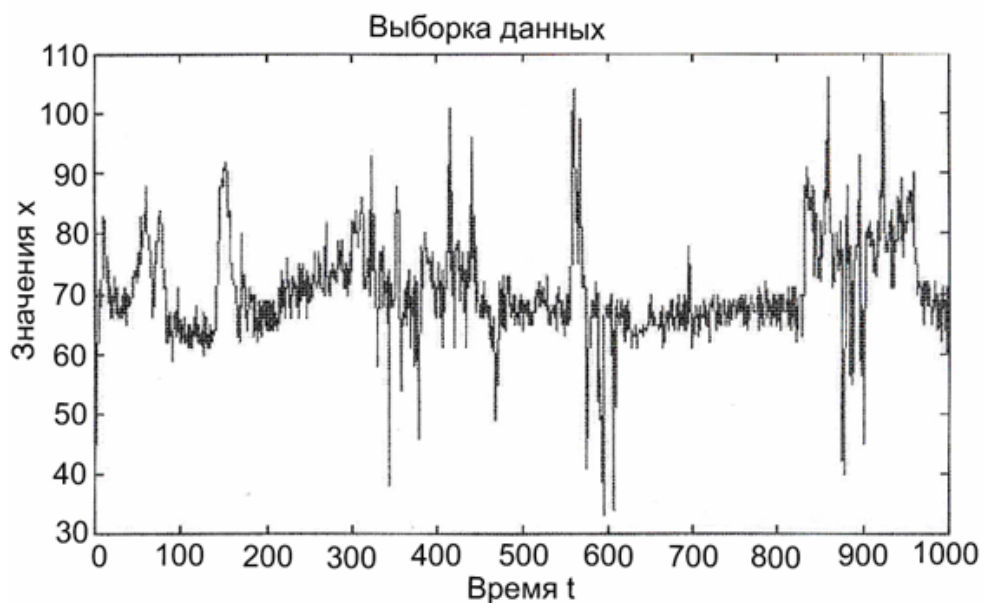


Рис. 8. Временной ряд ЧСС больного

$$U_n(t) = (0,884 \cdot t - 0,0002) + 10 \cdot \sum_{n=0}^{8705} U_{nm} \exp(-j2\pi \cdot n \cdot m / 8706) + \eta_n(t). \quad (8)$$

Как показали результаты работы, ВКР на основе ЧСС реальных больных являются менее стационарными и неэргодичными.

На рис. 9 приведен ВКР на основе диастолического давления больного, $N=190$. В работе даны статистики, амплитудофазочастотные спектры и эмпирическая модель (9).

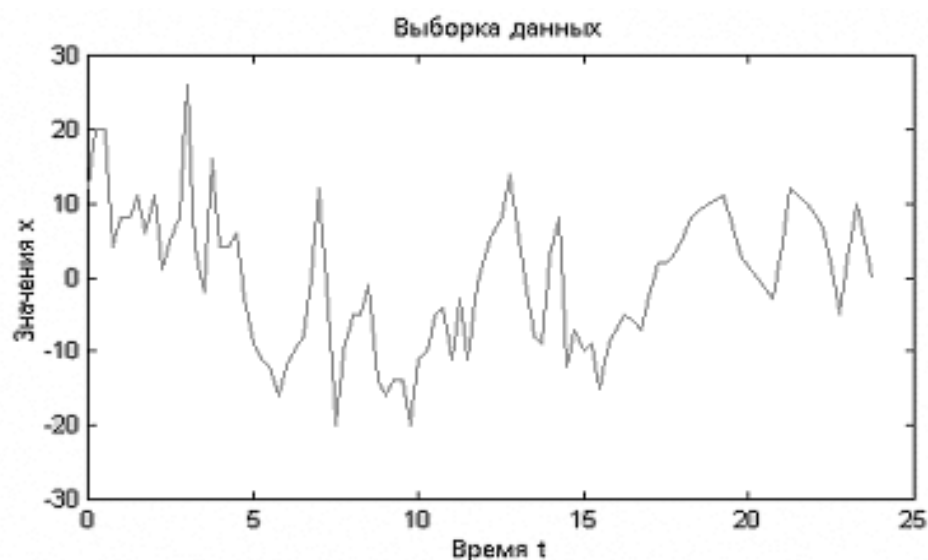


Рис. 9. Исходный ряд диастолического давления больного

$$U_n(t) = (9,295 \cdot t - 0,198) + 9 \cdot 10^2 \sum_{n=0}^{189} U_{nm} \exp(-j2\pi \cdot n \cdot m / 190) + \eta_n(t). \quad (9)$$

Полученные результаты исследования временных рядов суточного мониторинга систолического и диастолического рядов методами быстрого преобразования Фурье, Прони показали, что характеристики этих рядов близки, т.е. достаточно исследовать один из них. Разностные ряды, полученные синхфазным вычитанием диастолического давления из систолического, имеют значительно меньшую ширину спектра пульсаций, что говорит о значимости изучения этого ряда. В целом результаты тестов на стационарность и эргодичность подтвердили стационарность, корректность выбора модели.

В третьей главе приведены результаты исследований возможностей спектрального анализа различных временных кардиологических рядов на предмет повышения их диагностических возможностей. Создан специализированный банк данных АД, ЧСС, ЭКГ и сопровождающей их информации, включающий около 10 000 реализаций по кардиологическим больным, наблюдаемым в Тюменском кардиологическом центре. Все сведения верифицировались с помощью врачей-кардиологов.

Известно, что сегмент ST является одним из основных диагностических показателей, подтверждающих диагноз ишемической болезни сердца. Величина смещения сегмента ST измеряется относительно изоэлектрической линии. Сложности адекватной оценки этой части ЭКГ основаны на том, что различные заболевания оказывают влияние на изменение амплитуды и конфигурацию сегмента ST. В то же время иногда, наоборот, при наличии яркой клинической картины данные электрокардиограммы остаются на первый взгляд «немыми». Различают следующие виды смещения сегмента ST: параллельное оси, косовосходящее и косонисходящее. Они приведены на рис. 10.

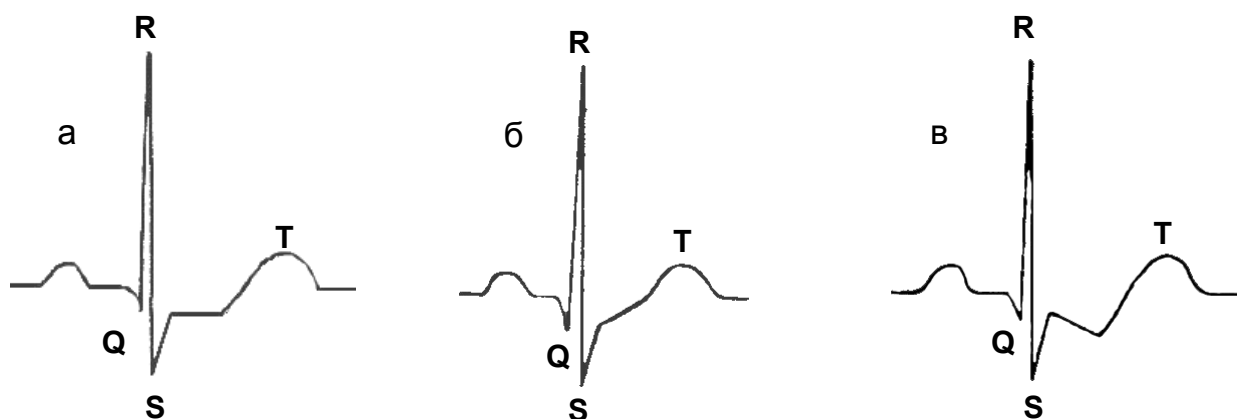


Рис. 10. Виды смещения сегмента ST на ЭКГ:

а – горизонтальное; б – косовосходящее; в – косонисходящее

Для определения влияния изменения сегмента ST на частотный спектр ВКР на предложенной модели нормальной ЭКГ искусственно задавались различные смещения сегмента ST.

Получены статистические характеристики и спектры нормальных ЭКГ и ЭКГ с различными вариантами изменения и их спектры.

Результаты сравнительного анализа нормальной (идеализированной) ЭКГ и ЭКГ с различными вариантами смещения сегмента ST показывают

существенные различия в диапазоне частот $(0,1 \div 0,25) \cdot 1/T$. Наблюдаются значительные различия амплитуды на частоте $0,03 1/T$.

С целью повышения чувствительности и информативности при исследовании влияния изменений сегмента ST ЭКГ на спектральные характеристики рекомендовано применение полосового фильтра нижних частот Чебышева II рода. При сравнении среднеквадратического отклонения спектра реальной и «нормальной» ЭКГ при различной ширине окна были получены оптимальные (максимальные) значения взаимной спектральной плотности.

Технология вычислительного эксперимента заключается в последовательном переборе параметров полосового фильтра Чебышева II рода. При этом проводилось постоянное сравнение спектров здорового человека и больных.

В итоге рекомендуемые параметры полосового фильтра нижних частот Чебышева II рода следующие: порядок фильтра $n = 4$, $F_p = 0,0125$ Гц, уровень пульсации $R_p = 20$.

Результаты исследований ВКР на основе ЧСС показали, что они имеют достаточно значимую шумовую компоненту. На точность спектральных исследований влияют как аппаратные шумы, так и естественные причины (например, акт глотания вызывает изменение баланса вегетативной регуляции, вследствие чего увеличивается мощность низкочастотной части спектра, искажая его естественный вид). Вариабельность же, являющаяся показателем заболевания сердца, таким образом, маскируется, что приводит к неточности и неоднозначности диагноза. Для решения этого вопроса проведены исследования по выбору цифрового порогового фильтра.

На рис. 11 представлены спектры ЧСС до и после фильтрации.

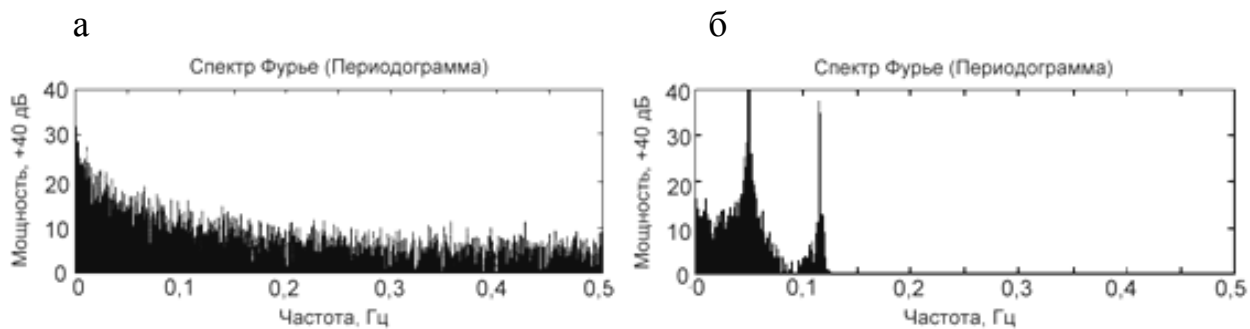


Рис. 11. АЧХ фильтра нижних частот Чебышева на частоте среза 0,125 Гц: а – без предварительной фильтрации; б – с применением порогового фильтра нижних частот Чебышева II рода

Результаты вычислительного эксперимента показали эффективность применения для временного ряда ЧСС порогового фильтра нижних частот Чебышева II рода. Следует рекомендовать параметры: порядок фильтра $n = 4$, частота среза $F_p = 0,125$ Гц, уровень пульсации $R_p = 30, 40$. Сравнительный анализ выявленных после фильтрации цикличностей с данными подобных исследований в ряде центров говорит о корректности выбранных параметров.

ВЫВОДЫ

1. Впервые предложена модель и разработана методика построения статистически достоверного временного кардиологического ряда на основе идеализированной нормальной электрокардиограммы, в том числе в отведениях.

2. Разработаны модель, алгоритмы и методика определения параметров спектральных характеристик временных кардиологических рядов на основе рядов электрокардиограммы, артериального давления, частоты сердечных сокращений и осуществлен выбор фильтров для их исследования.

3. Разработаны инструментальные и программные средства, включающие в себя нетрадиционные методы спектрального анализа. Выбраны параметры фильтров и проведен вычислительный эксперимент для подтверждения работоспособности и надежности полученных в работе методик и алгоритмов.

Список публикаций по теме диссертации

1. Лазеротерапия больных гипертонической болезнью в начальных стадиях [Текст] / И.А. Велижанина, М.С. Шабалина, Л.И. Гапон, Н.Н. Комалова, О.И. Сергейчик // Вопр. курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры.-1998.-№1.-С.9-11.
2. Влияние ингибиторов ангиотензинпревращающего фермента на состояние водно-солевого гомеостаза у больных артериальной гипертонией в условиях Крайнего Севера [Текст] / А.М. Вершинина, Л.И. Гапон, И.Ф. Бажухина, Д.В. Теффенберг, В.В. Дроздов, Н.А. Спицина, О.И. Сергейчик // Клиническая медицина.-2000.-№3.-С.42-46.
3. Цибульский В.Р. Исследование зависимости частотных характеристик электрокардиограмм от изменения сегмента ST [Текст] / В.Р. Цибульский, О.И. Сергейчик, В.А. Кузнецов // Вестн. кибернетики.- Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2002.- Вып.1.-С.38-45.
4. Спектральный анализ нормальных электрокардиограмм в отведениях [Текст] / В.Р. Цибульский, О.И. Сергейчик, А.Ю. Рычков, Л.Н. Копылова // Вестн. кибернетики.- Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2003.- Вып.2.-С.49-54.
5. Захаров А.А. О проектировании информационных систем медицинских учреждений [Текст] / А.А. Захаров, О.И. Сергейчик, В.В. Скачков // Математические методы в технике и технологиях: сб.науч.тр.- Кострома, 2004.- Т.4.-С.156-158.
6. Спектральный анализ нормальной ЭКГ [Текст] / А.Ю. Рычков, В.Р. Цибульский, О.И. Сергейчик, Л.Н. Копылова // Вестн. аритмологии.- 2004.-№35.- С.52.
7. Спектральный анализ суточного мониторирования артериального давления [Текст] / Н.Ю. Савельева, А.Ю. Жержова, О.И. Сергейчик, О.П. Васильева // Вестн. кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2004.- Вып.3.-С.12-26.
8. Принципы разработки информационной системы филиала ГУ НИИК

ТНЦ СО РАМН «Тюменский кардиологический центр» [Текст] / А.А. Захаров, А.В. Ковалев, О.И. Сергейчик, О.В. Петрова, А.Ю. Рычков // Диагностика и лечение нарушений сердечного ритма: сб. науч. тр.-Тюмень, 2005.-С.26-27.

9. Управление технологиями хранения и представления медико-биологической информации кардиоцентра [Текст] / А.А. Захаров, А.В. Ковалев, О.В. Петрова, О.И. Сергейчик // Математические методы в технике и технологиях: сб. науч.тр.-Кострома, 2005.-Т.6.-С.130-132.
10. Цибульский В.Р. Предварительная обработка кардиологических временных рядов ЧСС при помощи фильтров Чебышева [Текст] / В.Р. Цибульский, О.И. Сергейчик, А.Ю. Рычков // Вестн. кибернетики.-Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2005.-Вып.4.- С.116-121.

Список сокращений

- АД – Артериальное давление
- БПФ – Быстрое преобразование Фурье
- ВКР – Временной кардиологический ряд
- ЧСС – Частота сердечных сокращений
- ЭКГ – Электрокардиограмма