

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
Направление подготовки Прикладная математика и информатика
Кафедра прикладной математики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**Исследование методами нелинейной динамики ЭКГ для диагностики
кардиозаболеваний**

УДК 615.84:616-07:531.39

Студент

8БМ41	Присакарь Анастасия Владимировна			
Группа	ФИО	Подпись	Дата	

Руководитель

доцент	Козловских Александр Владимирович	К.Т.Н.		
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

По разделу «Социальная ответственность»

доцент	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н.		
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	Гергет Ольга Михайловна	К.Т.Н.		
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Способность проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты с использованием углубленных теоретических и практических знаний в области прикладной математики и информатики
P2	Умение использовать междисциплинарные знания при определении задач математического моделирования объектов и явлений в различных предметных областях
P3	Способность применять полученные <i>профессиональные</i> знания для определения, формулирования и решения производственных задач и обоснованно выбирать <i>эффективные</i> методы проектирования для достижения <i>новых</i> результатов.
P4	Способность осуществлять социально-ориентированную деятельность в соответствии с корпоративной политикой, с соблюдением норм профессиональной этики
P5	Способность осуществлять педагогическую деятельность по профилю специализации и разрабатывать учебно-методические комплексы для электронного и мобильного обучения.
P6	Способность эффективно осуществлять организационно-управленческую, консалтинговую и консорциумную деятельность
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	<i>Свободно</i> владеть <i>иностраным языком</i> на уровне, позволяющем работать в международных проектах.
P8	Эффективно работать <i>индивидуально (или в качестве члена команды)</i> или <i>руководителем</i> производственного или научного коллектива по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы.
P9	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение. Способность к интеллектуальному, культурному, нравственному и профессиональному саморазвитию.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
 Направление подготовки Прикладная математика и информатика
 Кафедра Прикладной математики

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ПМ ИК
 _____ Гергет О.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ41	Присакарь Анастасии Владимировне

Тема работы:

Исследование методами нелинейной динамики ЭКГ для диагностики кардиозаболеваний

Утверждена приказом директора Института кибернетики (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата)	
---	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования; документы конференции и отчеты НИИР; программное обеспечение).</i></p>	<p>Объект исследования. Требования к разрабатываемой программе.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования; содержательная, концептуальная, математическая структурная модель; разработка алгоритма решения задачи; выбор программного обеспечения; индивидуальные выводы о практической значимости проведенных исследований; дополнительные разделы, подлежащие разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Изучение предметной области, постановка задачи, разработка программы для исследования временных рядов, тестирование разработанной программы, проведение исследований на примере ЭКГ пациентов с различными типами заболеваний.</p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Презентация проекта в PowerPoint</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Анищенко Ю.В.
Английский язык	Сидоренко Т.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы	
Разработка программы для исследования временных рядов методами нелинейной динамики	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Козловских А.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ41	Присакарь Анастасия Владимировна		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики

Направление подготовки Прикладная математика и информатика

Уровень образования магистр

Кафедра прикладной математики

Период выполнения _____ осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года _____

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
	Социальная ответственность	
	Обязательное приложение на иностранном языке	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Козловских А.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гергет О.М.	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 109 с., 26 рис., 38 табл., 31 источник, 4 прил.

Ключевые слова: корреляционная размерность, диагноз, кардиозаболевание, заболевание, ЭКГ.

Цель работы: исследовать методы нелинейной динамики для диагностики кардиозаболеваний по ЭКГ.

В процессе исследования проводились:

- 1) исследование предметной области;
- 2) разработка и тестирование программного продукта, позволяющего исследовать временные ряды (векторные и скалярные) методами нелинейной динамики;
- 3) исследование показателей корреляционной размерности ЭКГ пациентов с различными кардиозаболеваниями.

Результатами работы являются: программный продукт для исследования временных рядов, значения корреляционных размерностей для пациентов с различными кардиозаболеваниями и их траектории в пространстве состояний.

Область применения: научно-исследовательские лаборатории.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения

аттрактор: Область фазового пространства, к которой стягиваются фазовые траектории с течением времени.

размерность вложения: Наименьшая целая размерность пространства, содержащего весь аттрактор.

странный аттрактор: Аттрактор со сложной геометрической структурой, имеющий дробную размерность.

фазовое пространство: Некоторое абстрактное n -мерное пространство, оси которого образованы переменными x_1, \dots, x_n , где n – конечный набор параметров описываемой системы.

фрактальная размерность: Количественная характеристика множества точек в n -мерном пространстве, показывающая, насколько плотно точки заполняют подпространство, когда их число становится большим.

фазовая траектория: Траектория движения точки в фазовом пространстве, изображающая изменение со временем t состояния динамической системы.

электрокардиограмма: Графическое представление электрической активности сердца.

Обозначения и сокращения

АКФ – автокорреляционная функция;

ПК – персональный компьютер;

ЭКГ – электрокардиограмма.

Оглавление

Введение.....	10
1 Обзор литературы	12
2 Объект и методы исследования.....	20
3 Разработка программы для исследования временных рядов методами нелинейной динамики.....	23
3.1 Восстановление размерности фазового пространства.....	23
3.2 Корреляционная размерность.....	24
3.3 Автокорреляционная функция	26
3.4 Амплитудный спектр.....	27
3.5 Программная реализация	27
3.6 Тестирование программы на известных системах	34
4 Проведение исследований, результаты и их анализ.....	35
4.1 Экспериментальные данные	35
4.2 Вычисление корреляционных размерностей и медиан.....	36
4.3 Оценка траекторий в пространстве состояний	40
4.4 Эксперимент с пациентами с неизвестными диагнозами.....	48
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	57
5.1 Организация и планирование работ.....	57
5.1.1 Продолжительность этапов работ.....	58
5.1.2 Расчет накопления готовности проекта.....	62
5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	63
5.2.1 Расчет затрат на материалы	63
5.2.2 Расчет заработной платы	64
5.2.3 Расчет затрат на социальный налог	65
5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию.....	65
5.2.5 Расчет амортизационных расходов.....	66
5.2.6 Расчет прочих расходов	67
5.2.7 Расчет общей себестоимости разработки.....	67
5.2.8 Расчет прибыли.....	67

5.2.9	Расчет НДС.....	67
5.2.10	Цена разработки НИР.....	67
5.3	Оценка экономической эффективности проекта.....	68
5.3.1	Оценка научно-технического уровня НИР.....	68
6	Социальная ответственность.....	71
6.1	Производственная безопасность.....	71
6.2	Экологическая безопасность.....	78
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	78
6.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	81
6.4.1	Психофизиологические факторы.....	81
6.4.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	81
	Заключение.....	82
	Список публикаций студента.....	84
	Список использованных источников.....	85
	Приложение А.....	88
	Приложение Б.....	107
	Приложение В.....	108
	Приложение Г.....	109

Введение

Кардиологические болезни уже долгое время лидируют среди причин смертности и получения инвалидности людей трудоспособного возраста.

Кардиологические заболевания относятся к тем болезням, которые достаточно хорошо поддаются лечению, если они выявляются на ранней стадии. Основным диагностическим методом в кардиологии уже на протяжении длительного времени остаётся электрокардиография.

ЭКГ позволяет оценить регулярность сердечного ритма (норма, слишком быстро, слишком медленно, нерегулярно), а также общее состояние сердечной мышцы, наличие определенных патологических процессов (при кардиомиопатии, инфаркте миокарда, перикардите).

Обработка ЭКГ позволяет выявить взаимосвязь между ее характеристиками и видом заболевания и предложить наиболее эффективный способ диагностирования, поэтому выполнение данной работы является актуальным для лечебных учреждений.

Объектами исследования являются оцифрованные ЭКГ пациентов с различными кардиозаболеваниями.

Предметом исследования являются характеристики ЭКГ, найденные методами нелинейной динамики и возможность использования их для диагностики кардиозаболеваний.

Цель выпускной квалификационной работы: исследовать ЭКГ методами нелинейной динамики для изучения возможности диагностирования кардиозаболеваний.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать методы изучения ЭКГ;
- выбрать и обосновать метод решения задачи;
- разработать алгоритм нахождения характерных показателей ряда;
- реализовать алгоритм в специализированной программе на ЭВМ;

– провести анализ экспериментальных данных и предложить рекомендации по использованию полученных результатов.

Научная новизна работы заключается в получении новых сведений о проявлении различных показателей ЭКГ, которые в дальнейшем могут быть использованы для выработки рекомендаций врачам при постановке диагноза.

Практическая значимость работы заключается в изучении возможности использования методов нелинейной динамики для диагностики кардиозаболеваний. Установлено, что для групп пациентов с различными кардиозаболеваниями и здоровых пациентов показатели корреляционной размерности различны.

Реализация работы. Результаты работы, полученных при анализе оцифрованных ЭКГ, рекомендуется использовать в научно-исследовательских лабораториях для дальнейших исследований.

Личный вклад студента. Первый раздел в области постановки задачи выполнен совместно с руководителем. Обзор литературы проведен самостоятельно. Выбор метода расчета и обсуждение результатов работы проведены совместно с руководителем. Разработка алгоритма и вычислительные эксперименты выполнены самостоятельно.

1 Обзор литературы

Сердечно-сосудистые заболевания, наравне с онкологическими заболеваниями прочно удерживают первенство среди самых распространенных и опасных болезней XXI века. Учитывая количественный рост кардиозаболеваний, лечение болезней сердца стало сегодня одним из самых востребованных видов медицинской помощи.

Диагностировать болезни сердца может только врач-кардиолог после подробного обследования [1].

Обследование включает в себя:

- 1) беседу с врачом (сбор анамнеза, проведение дифференциальной диагностики, формирование программы обследования);
- 2) развернутый анализ крови, включая биохимию, свёртываемость и анализ жиров крови;
- 3) измерение спирометрии;
- 4) снятие ЭКГ;
- 5) заключительную беседу с врачом по результатам обследования, при необходимости – назначение плана лечения [1].

Одним из основных методов диагностики сердечно-сосудистых заболеваний является проведение ЭКГ. На сегодняшний день ни один аппарат не в состоянии продемонстрировать более точное графическое изображение работы сердца в динамике, поэтому еще долго электрокардиография будет оставаться вне конкуренции по причине огромной важности своего значения в клинической практике [2].

По ЭКГ можно оценить:

- источник ритма сердца;
- частоту сердечных сокращений;
- выявить различные нарушения ритма сердца;
- нарушения проведения импульсов по структурам сердца;
- диагностировать ишемию миокарда, инфаркт миокарда;
- нарушения питания миокарда при различных заболеваниях;

- определить избыток или недостаток калия, магния, кальция в организме при различных заболеваниях и при приеме лекарств;
- определить передозировку некоторых лекарств при лечении сердечной недостаточности;
- оценить лечение заболеваний сердца по ЭКГ в динамике;
- выявить признаки гипертрофии отделов сердца.

Обычно электрокардиография выполняется на 3-12 отведениях, при этом от их количества зависит и точность показателей. Отведением в электрокардиографии называется метод выявления разности потенциалов между двумя участками тела. Если поместить электроды на два участка тела, имеющие разные потенциалы, и соединить их с электрокардиографом, то в результате колебаний разности потенциалов можно записать кривую – ЭКГ [3].

Большое количество отведений обусловлено тем, что любое конкретное отведение регистрирует особенности прохождения синусного импульса по различным отделам сердца (Таблица 1) [4].

Таблица 1 – Отделы сердца и соответствующие отведения

Отведения	Отделы миокарда
I	передняя стенка сердца
II	суммационное отображение I и III
III	задняя стенка сердца
aVR	правая боковая стенка сердца
aVL	левая передне-боковая стенка сердца
aVF	задне-нижняя стенка сердца
V ₁ и V ₂	правый желудочек
V ₃	межжелудочковая перегородка
V ₄	верхушка сердца
V ₅	передне-боковая стенка левого желудочка
V ₆	боковая стенка левого желудочка

Еще есть дополнительные отведения V_x, V_y, V_z, которые используют для более точной диагностики очаговых изменений миокарда.

Проведение диагностики процесса, происходящего в том или ином участке сердца, проводится с большей достоверностью, благодаря большому разнообразию электрокардиографических отведений [4].

Общая схема расшифровки ЭКГ (рисунок 1) [5]:

1) Анализ сердечного ритма и проводимости:

- оценка регулярности сердечных сокращений;
- подсчёт ЧСС;
- определение источника возбуждения;
- оценка проводящей системы сердца.

2) Определение поворотов сердца вокруг переднезадней, продольной и поперечной осей:

- определение положения электрической оси сердца во фронтальной плоскости;
- определение поворотов сердца вокруг продольной и поперечной оси.

3) Анализ предсердного зубца P.

4) Анализ желудочкового комплекса QRS-T:

- анализ комплекса QRS;
- анализ сегмента RS-T;
- анализ зубца T;
- анализ интервала Q-T.

5) Электрокардиографическое заключение.

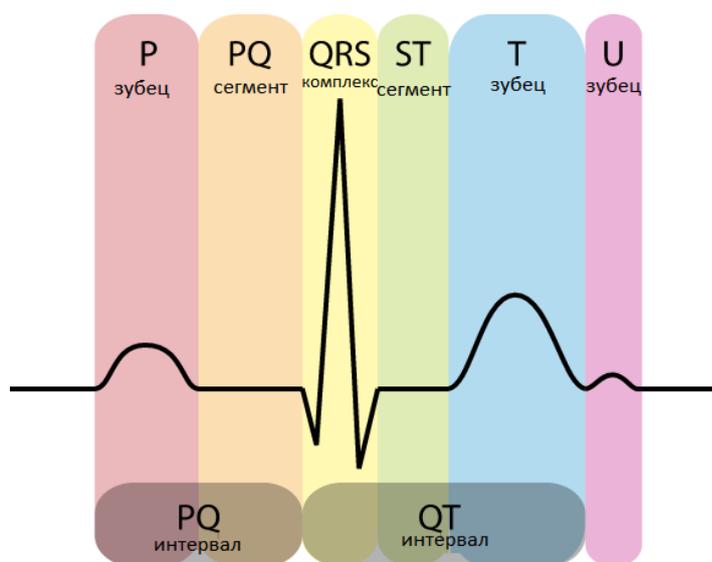


Рисунок 1 – Компоненты ЭКГ

В результате обзора литературы по методам изучения ЭКГ выделены следующие методы [6]:

1) Анализ variability сердечного ритма

Анализ variability сердечного ритма набирает все большую популярность в кардиологических исследованиях. Данный метод основан на определении последовательности интервалов R-R ЭКГ, которые также называют NN-интервалами (normal-to-normal), то есть учитываются промежутки только между нормальными сокращениями.



Рисунок 2 – Последовательность интервалов R-R ЭКГ

Анализ variability сердечного ритма:

- позволяет оценить влияние ряда факторов и вегетативной нервной системы на работу сердца;
- позволяет выявлять патологические заболевания, следить за динамикой и, в общем, оценивать функциональное состояние человека;
- позволяет предугадать сбои в работе сердечно-сосудистой системы путём получения информации об адаптационных резервах организма.

Нарушение работы вегетативной нервной и сердечно-сосудистой системы можно определить по снижению параметров variability, что в дальнейшем приводит к серьёзным патологиям, связанным с работой сердца. Более высокий парасимпатический тонус, свойственный для спортсменов и здоровых молодых людей, приводит к наиболее высоким показателям variability сердечного ритма. Различные естественные заболевания сердца приводят к высокому симпатическому тону, что связано со снижением показателей variability. Резкое снижение – приводит к высоковероятному летальному исходу.

В настоящее время существует несколько методов оценки variability сердечного ритма. Среди них выделяют три группы:

- методы временной области – опираются на статистические методы и направлены на исследование общей variability;

- методы частотной области – исследование периодических составляющих ВСР;

- интегральные показатели ВСР (относят автокорреляционный анализ и корреляционную ритмографию) [7].

2) Спектральный анализ ритма сердца

Применение спектрального анализа позволяет количественно оценить влияние различных регуляторных систем на работу сердца.

По колебаниям ритма сердца различной периодичности можно выделить три основных спектральных компонента: очень низкочастотные (VeryLowFrequency — VLF), низкочастотные (LowFrequency — LF) и высокочастотные (HighFrequency — HF). VLF компоненты используются при кратковременной записи ЭКГ, дополнительные ультранизкочастотные (UltraLowFrequency (ULF)) компоненты используются для длительных записей.

HF компонент отражает влияние на работу сердца блуждающего нерва, определяется по дыхательным движениям.

LF компонент характеризует влияние симпатического и парасимпатического отделов на сердечный ритм.

VLF и ULF компоненты отражают действие различных факторов организма. К подобным факторам относятся, например, сосудистый тонус, систему терморегуляции и др.

Также выделяются следующие параметры: TF – общая мощность спектра, индекс централизации IC, равный $(HF+LF)/VLF$ и индекс вагосимпатического взаимодействия LF/HF . TF позволяет оценить суммарную активность воздействий вегетативной нервной системы на ритм сердца.

LF/HF – позволяет определить совокупность влияния парасимпатического и симпатического отделов на сердце [8].



Рисунок 3 – Спектральный анализ сердечного ритма

3) Вейвлет-преобразование ритма сердца

Большинство медицинских сигналов, в том числе R-R- интервалограмма обладает сложными частотно-временными характеристиками. В основном подобные сигналы строятся из близких по частоте низкочастотных компонентов, близких по времени высокочастотных и долговременных компонентов (коротко-живущих).

В основном используется два возможных варианта анализа подобных сигналов:

1. Локальное (оконное) преобразование Фурье

В данном случае бы предварительно разбиваем нестационарный сигнал на сегменты, статистика которых не меняется со временем, то есть работаем как со стационарным сигналом.

2. Вейвлет-преобразование

В случае вейвлет-преобразования анализ производится путём разложения нестационарного сигнала по базисным функциям, который в свою очередь бы получен из некоего прототипу путем сжатий, растяжений и сдвигов.

Различают дискретный и непрерывный вейвлет-анализ. Их аппарат применяется как для дискретных, так и для непрерывных сигналов. В вейвлет-анализе функции особого рода играют роль простых колебаний и называются вейвлетами. Разложение базисных функций, полученных из некоторого прототипа, позволяет проанализировать исходный сигнал. Анализирующим (материнским) вейвлетом называется функция-прототип, представляющая собой некоторое "короткое" солитоноподобное колебание.

На рисунке 4 представлен вид вейвлет-спектрограммы в проекции на плоскость время-частота. Изменение цветовой палитры показывает интенсивность значений третьей координаты.

Вейвлет-анализ является разновидностью спектрального анализа.

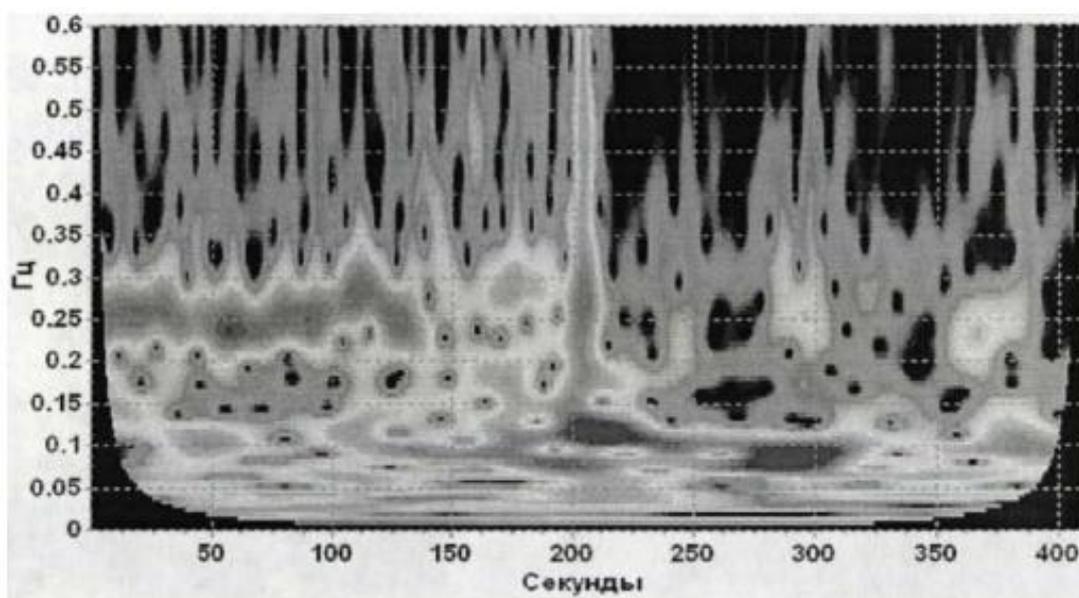


Рисунок 4 – Пример вейвлет-спектрограммы

Вейвлет-окно способно отследить как низкочастотные, так и высокочастотные компоненты сигнала, путем изменению масштаба. При этом полоса по оси времени сжимается, а ось частот имеет довольно большую ширину (в случае с высокочастотной компонентой).

Вейвлет-спектрограмма дает более четкое распределение концентрации энергии на различных частотных уровнях, показывая одновременно эволюцию этих ритмов во времени [9].

4) Методы нелинейной динамики

Методы нелинейной динамики подробно изложены в разделе 3.

2 Объект и методы исследования

Объектами исследования являются оцифрованные ЭКГ пациентов с различными кардиозаболеваниями.

Выдвигается гипотеза о том, что между характеристиками ЭКГ, найденными методами нелинейной динамики, и заболеванием имеется связь. Поэтому **предметом исследования** являются характеристики ЭКГ, найденные методами нелинейной динамики. Целью исследования является определение связи между показателями ЭКГ (в частности, фрактальной размерности временных рядов) и группами заболеваний.

В качестве метода решения поставленной задачи выбраны методы нелинейной динамики, которые в последнее время приобретают все более широкое распространение.

К основным методам нелинейной динамики относят:

- 1) аналитические исследования нелинейных уравнений (нахождение особых точек, определение типа уравнения);
- 2) исследование свойств решения (определение типа аттрактора);
- 3) численные исследования нелинейных систем (восстановление фазового портрета, вычисление различных характеристик: фрактальной размерности, показателя Ляпунова, показателя Хёрста).

Данные методы применяются в самых различных областях: медицине, экономике, географии и т.д. Изначально основные математические модели нелинейной динамики были разработаны для технических и естественнонаучных приложений. В последствии выяснилось, что аналогичные эффекты и закономерности поведения присущи и другим системам: метеорологическим, экономическим, финансовым, социальным [10].

Например, в работе [11] проводился анализ и прогноз временной изменчивости речного стока методами нелинейной динамики и обнаружено существование зависимости между такими динамическими параметрами, как временная задержка и корреляционная размерность, и коэффициентом естественной зарегулированности стока. Результаты исследования показали,

что многие временные ряды стока с интервалом дискретности, равным месяцу и декаде, нелинейны и содержат явные признаки детерминированного хаоса. В практическом смысле это определяет целесообразность применения методов нелинейной динамики для расчетов стока и его прогнозов с небольшой заблаговременностью, равной интервалу дискретности ряда наблюдений.

Применение алгоритмов нелинейной динамики при исследовании мозга человека позволило предложить новые методы диагностики. В частности, расчет корреляционного интеграла для электроэнцефалограмм позволил классифицировать мозговые травмы, что не удавалось сделать никакими другими способами.

Корреляционная размерность применялась, например, для анализа ЭЭГ во время сна человека с целью исследования стадий сна [12].

Возрастание интереса к нелинейной динамике можно связать в основном с двумя факторами – широким распространением и доступностью мощных ПК и осознанием важности изучения динамики хаотических систем [13].

Развитие нелинейной динамики базируется на работах великих математиков – А.М. Ляпунова, А.Л. Колмогорова, Анри Пуанкаре, Альберта Эйнштейна. Нелинейная динамика – раздел современной математики, занимающийся исследованием нелинейных динамических систем [14].

Под динамической системой условилось понимать систему любой природы (физическую, химическую, биологическую, социальную, экономическую и т.д.), состояние которой изменяется (дискретно или непрерывно) во времени.

Особенностью, присущей исключительно нелинейным системам, является возможность реализации в них множества различных режимов функционирования, которые зависят от начального состояния, параметров системы и внешних воздействий. В частности, в нелинейных системах возможен режим детерминированного хаоса, отсутствующий у линейных моделей. Явление детерминированного хаоса представляет собой сложный,

непериодический процесс, чисто внешне похожий на случайный, но при более детальном анализе вскрывается одно важное отличие этого процесса от случайного – этот процесс воспроизводим.

Методы нелинейной динамики позволяют оценить фундаментальные свойства физиологических процессов – энтропию, отражающую уровень информационной неопределённости, а также фрактальность, отражающую степень самоподобия процесса [14]. Фрактальная размерность является показателем сложности процесса, по величине которого можно предсказывать поведение системы, и диагностировать нестабильные состояния [15]. Применение нелинейно-динамического подхода позволяет оценить, как функционирует исследуемая система (регулярно или нерегулярно, если нерегулярно, то в какой степени) и определить сложность ее динамики.

Таким образом, предметом исследования являются свойства временных рядов, соответствующие канонам нелинейной динамики. К таким свойствам относятся:

- 1) дробная фрактальная размерность;
- 2) быстро затухающая, апериодическая автокорреляционная функция;
- 3) практически непрерывный спектр при низких частотах.

3 Разработка программы для исследования временных рядов методами нелинейной динамики

3.1 Восстановление размерности фазового пространства

Пусть исследуемый процесс представлен в виде последовательности значений переменной $x(t)$.

Для восстановления аттрактора используется метод временных задержек, который основан на теореме Такенса. Согласно его теореме, для реконструкции динамической структуры исследуемой системы достаточно длительного наблюдения за изменением лишь одного параметра этой системы. Таким образом, в аттракторе, восстановленном в n -мерное пространство, каждая точка $x(t)$ будет отображаться на точку этого пространства с координатами $\{x(t), x(t + \tau) \dots x(t + (m - 1)\tau)\}$, где m – размерность вложения, а τ – время задержки.

Размерность вложения (m) – наименьшая целая размерность пространства, содержащего весь аттрактор. Она соответствует количеству независимых переменных, однозначно определяющее установившееся движение динамической системы [16].

Пример реконструкции фазового пространства приведен на рисунке 5.

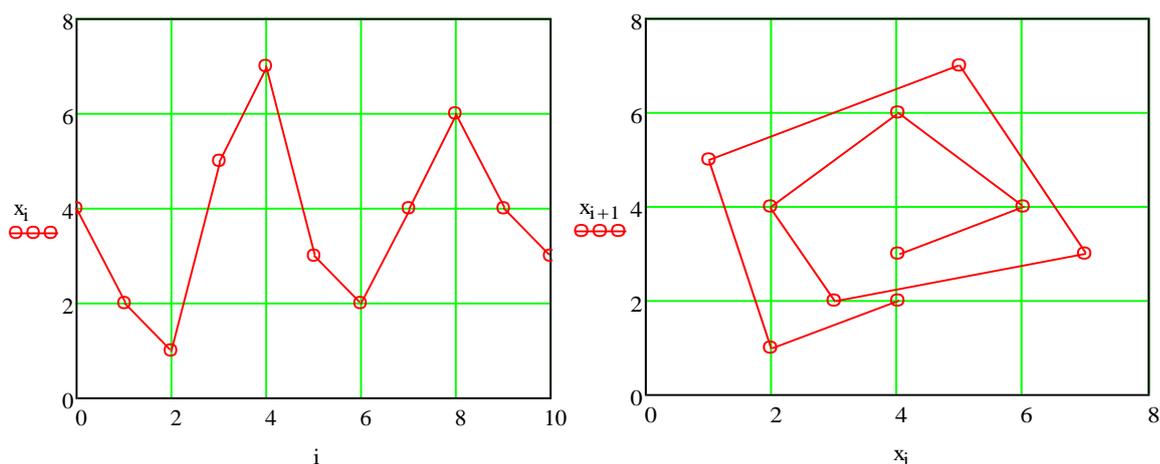


Рисунок 5 – Пример реконструкции двумерного фазового пространства ($\tau=1, m=2$)

Блок-схема алгоритма восстановления фазового пространства представлена в приложении Б.

3.2 Корреляционная размерность

Непрерывная траектория дискретизируется – заменяется множеством из N точек $\{x_i\}$ в фазовом пространстве. Затем вычисляют расстояния между парами точек $s_{ij} = |x_i - x_j|$, используя либо обычную евклидову меру расстояния (квадратный корень из суммы квадратов координат), либо какую-нибудь эквивалентную меру. Блок-схема алгоритма вычисления расстояний между точками в n -мерном пространстве представлена в приложении В.

Корреляционная функция определяется как

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \left(\begin{array}{l} \text{число пар } (i, j), \\ \text{для которых расстояние } s_{ij} < r \end{array} \right). \quad (1)$$

Блок-схема алгоритма вычисления корреляционного интеграла от радиуса корреляции представлена в приложении Г.

Фрактальную, или корреляционную, размерность можно определить:

$$d_G = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log C(r)}{\log r}. \quad (2)$$

Более эффективно $C(r)$ можно вычислить, описав в фазовом пространстве сферу (или куб) вокруг каждой точки $\{x_i\}$ (рисунок 6) и подсчитав число точек в каждой сфере, т.е.

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N H(r - |x_i - x_j|), \quad (3)$$

где $H(s)=1$ при $s>0$ и $H(s)=0$ при $s<0$. Эта величина отличается от поточечной размерности тем, что суммирование проводится вокруг каждой точки [17].

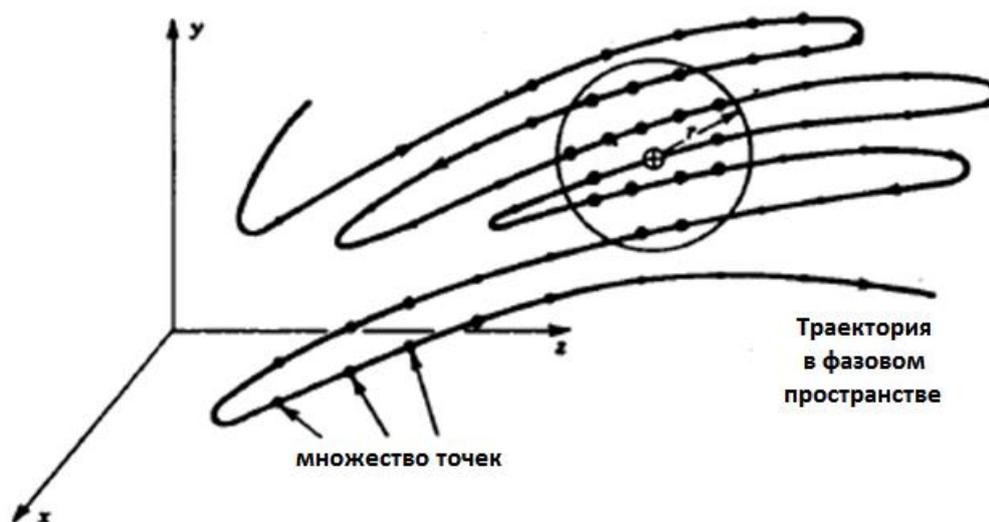


Рисунок 6 – Траектория движения в фазовом пространстве

Расчет корреляционного интеграла требует больших временных затрат, число операций пропорционально произведению квадрата числа точек на размерность пространства вложения. После вычисления корреляционного интеграла для различных радиусов корреляций строится зависимость корреляционного интеграла от радиуса корреляции в логарифмическом масштабе. Линейный участок построенной зависимости несет в себе информацию о корреляционной размерности «странного» аттрактора.

Для выбора линейного участка необходимо вычислить производную корреляционного интеграла, найти на графике интервал, на котором производная близка или равна константе. Именно по этому участку вычисляется корреляционная размерность (как тангенс угла наклона).

Для сглаживания графика зависимости корреляционного интеграла от радиуса корреляции используем кубический сплайн (при помощи функции *csapi*), производная в свою очередь находится при помощи функции *fival*. На рисунке 7 представлены исходный и интерполированный графики.

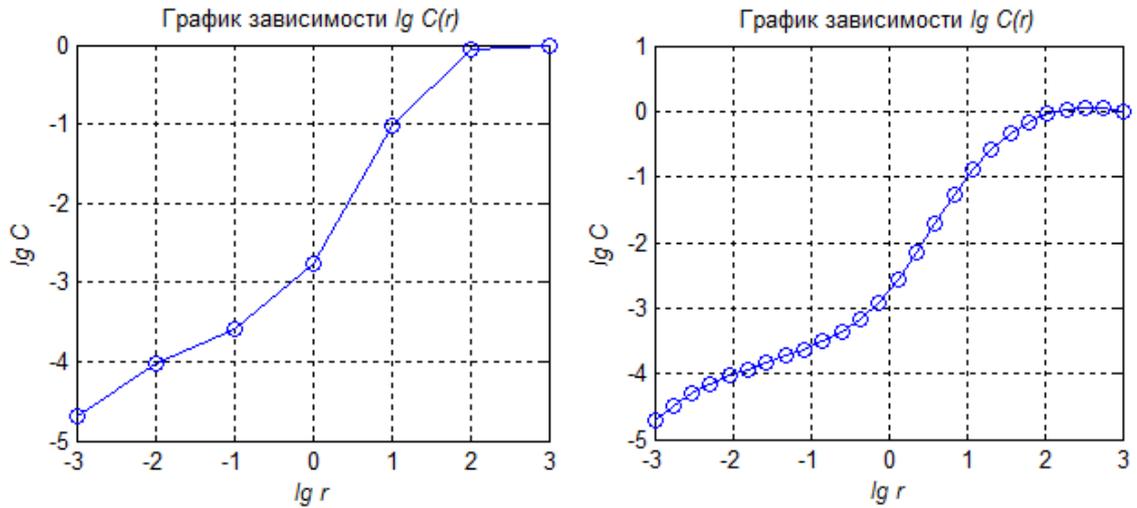


Рисунок 7 – Графики зависимости корреляционного интеграла от радиуса корреляции до и после интерполяции

3.3 Автокорреляционная функция

АКФ определяется интегралом

$$K(\tau) = \int_0^{\infty} x(t)x(t + \tau)dt \quad (4)$$

и показывает связь сигнала с копией самого себя, смещенного на величину τ , называемой лагом (величина сдвига между рядами наблюдений). Чем больше автокорреляционная функция, тем больше сходство.

Когда сигнал хаотичен, информация о его истории теряется, то есть $K(\tau) \rightarrow 0$ при $\tau \rightarrow \infty$, таким образом сигнал обнаруживает корреляцию только со своим недавним прошлым.

В теории случайных функций АКФ является корреляционным моментом двух значений одной случайной функции $x(t)$:

$$K(\tau) = \frac{M\{[x(t_1) - \bar{x}(t_1)][x(t_2) - \bar{x}(t_2)]\}}{D}, \quad (5)$$

где $\bar{x}(t) = M[x(t)]$, а $M[x(t)]$ – математическое ожидание [18].

Для вычисления АКФ использовалась стандартная функция Matlab *xcorr* с параметром *coeff*, который нормирует значения таким образом, что при нулевом сдвиге значение АКФ равно 1.

В общем случае функция вычисления АКФ записывается как

$$[r,lags]=xcorr(x, [minlag \ maxlag], norm), \quad (6)$$

где r – массив значений АКФ, $lags$ – массив значений сдвигов по оси времени для данной АКФ, x – исходный ряд, $[minlag \ maxlag]$ – пределы изменения сдвига, $norm$ – метод нормирования.

3.4 Амплитудный спектр

Амплитудным спектром называют набор амплитуд всех гармоник, который обычно представляют диаграммой в виде набора вертикальных линий, длины которых пропорциональны амплитудным значениям гармонических составляющих, а место на горизонтальной оси определяется частотой (номером гармоники) данной составляющей [19].

Для вычисления амплитудного спектра использовались стандартные функции Matlab (листинг 1).

Листинг 1. Вычисление амплитудного спектра

```
NFFT = 2^nextpow2(L);
Y = fft(y,NFFT)/L;
f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
plot(f,2*abs(Y(1:NFFT/2+1)))
```

Здесь y – исходный дискретный ряд, L – количество отсчетов, fft – функция, выполняющая быстрое преобразование Фурье, Fs – максимальное значение частотного диапазона.

3.5 Программная реализация

Для реализации программы был выбран язык программирования Matlab, поскольку у него есть ряд преимуществ [20]:

- имеется большое количество стандартных функций, обеспечивающих работу, в том числе с графическими объектами;
- Matlab является интуитивно понятным языком программирования;
- Matlab позволяет создавать графический пользовательский интерфейс;
- имеет огромные возможности и высокую скорость выполнения задач.

В результате в пакете Matlab реализована программа с графическим интерфейсом. Структурная схема интерфейса представлена на рисунке 8.

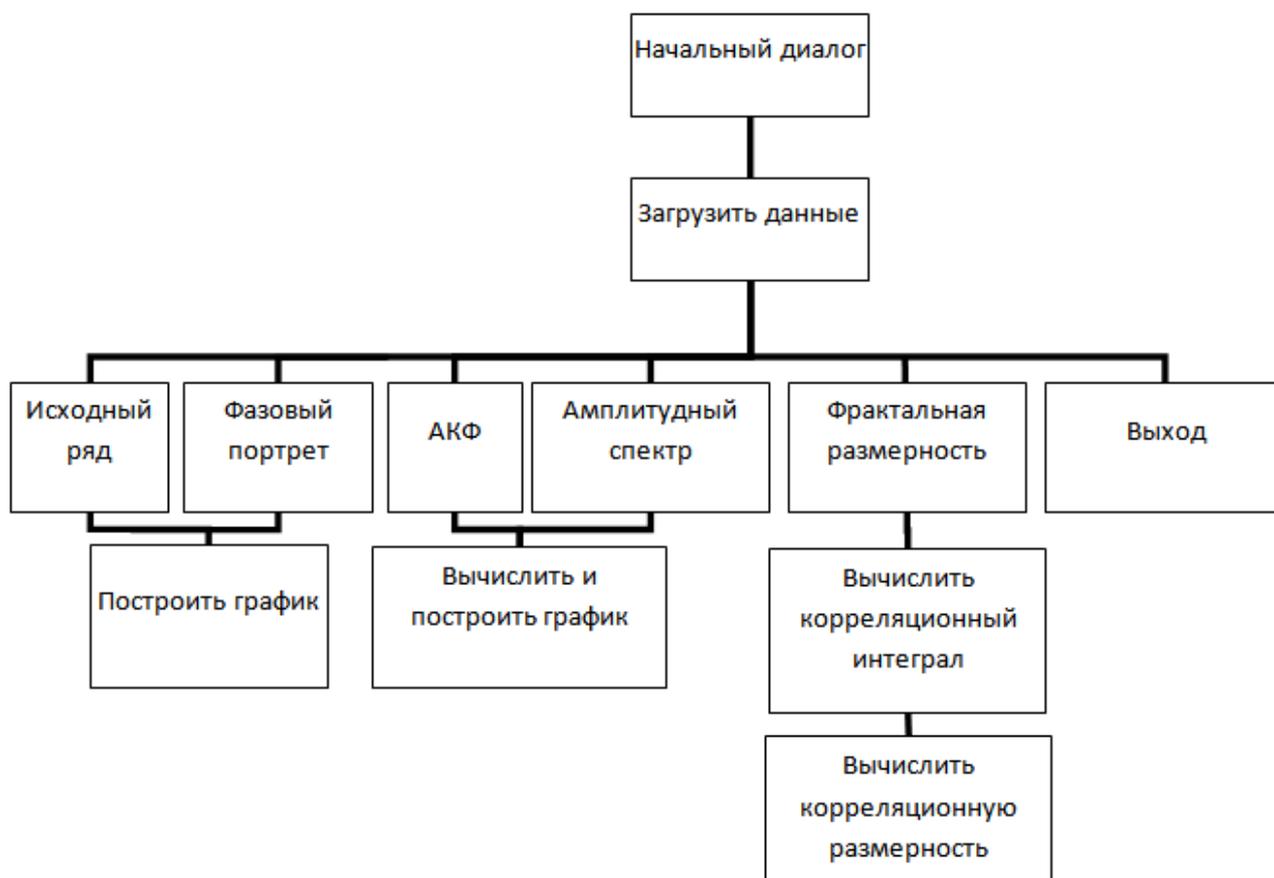


Рисунок 8 – Структурная схема интерфейса

Интерфейс программы состоит из двух основных частей:

- меню с иконками для загрузки файла и работой с графиками;
- рабочая область в виде пяти вкладок.

Меню

Предназначения каждой кнопки меню отображаются при наведении на кнопку.

В меню содержатся кнопки:

- «Загрузить данные»;
- «Увеличить», «Уменьшить» (для изменения масштаба графика)
- «Ладонка»;
- «Копировать график»;
- «Координаты данных»;
- «Вращение графика».

После нажатия кнопки «Загрузить данные»  открывается окно

выбора файла (рисунок 9).

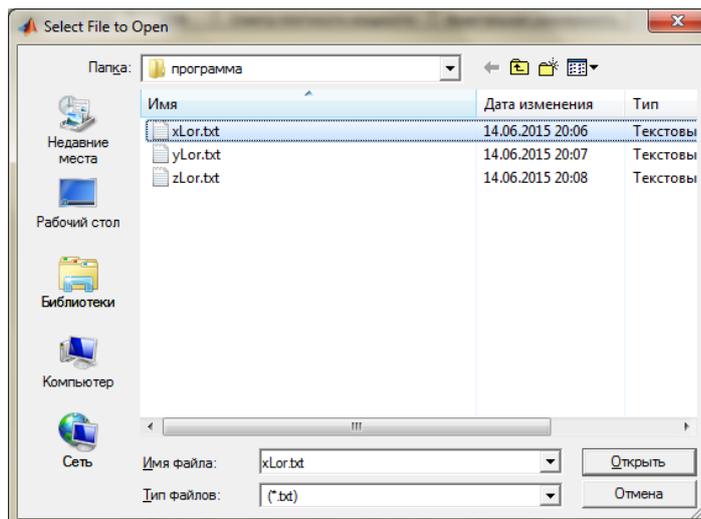


Рисунок 9 – Окно выбора файла

После выбора файла и нажатия кнопки «Открыть» открывается окно ввода параметров (рисунок 10), в котором указывается число строк и столбцов, которое пользователь желает загрузить.

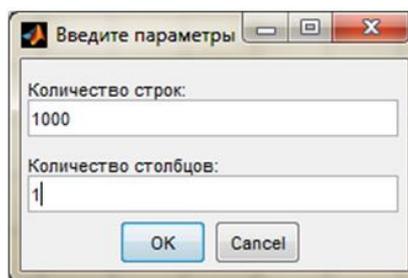


Рисунок 10 – Окно ввода параметров загружаемых данных

Если в поле «Количество столбцов» введено значение «1», то по нажатию «OK» появится окно задания параметров для восстановления фазовых координат (рисунок 11).

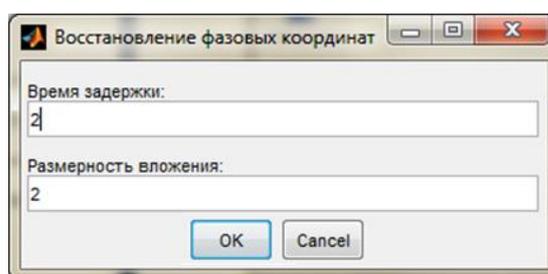


Рисунок 11 – Окно задания параметров для восстановления фазовых координат

Если фазовые координаты восстанавливали, то параметры восстановления можно поменять внизу экрана, в полях «Время задержки» и «Предполагаемая размерность вложения», после чего нажать «Применить», таким образом, рассматриваемый ряд изменится.

Рабочая область

На вкладке «Исходный ряд» представлены (рисунок 12):

- кнопка «Построить график»;
- графический объект Axes для построения исходного графика.

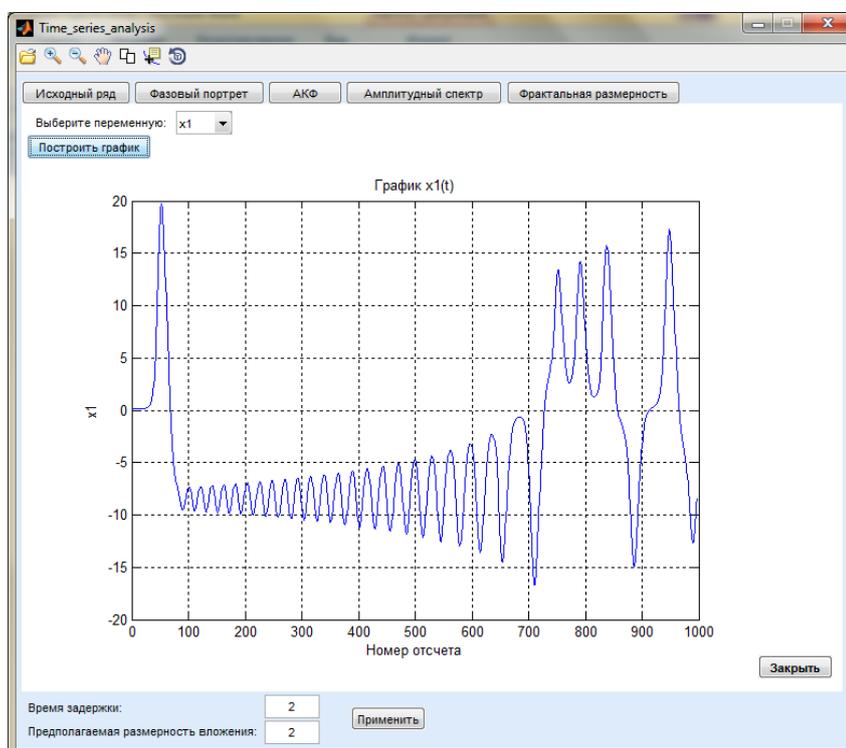


Рисунок 12 – Интерфейс вкладки «Исходный ряд»

Вкладка «Фазовый портрет» доступна только в случае двухмерных или трехмерных рядов (рисунок 13). На вкладке представлены:

- кнопка «Построить график»;
- графический объект Axes для построения фазового портрета.

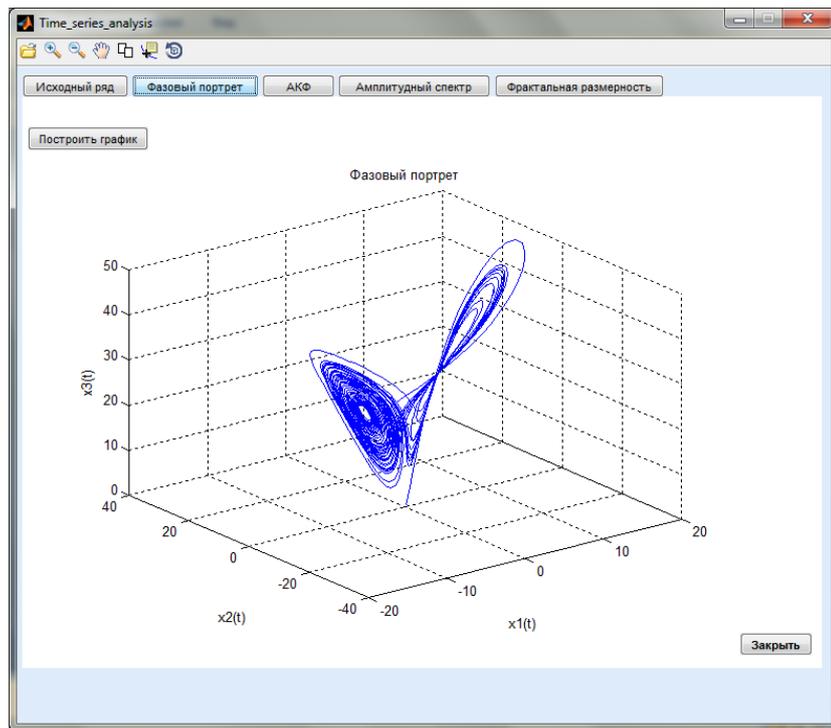


Рисунок 13 – Интерфейс вкладки «Фазовый портрет»

На вкладке «АКФ» представлены (рисунок 14):

- кнопка «Вычислить», предназначенная для вычисления и построения АКФ;
- графический объект Axes для построения АКФ.

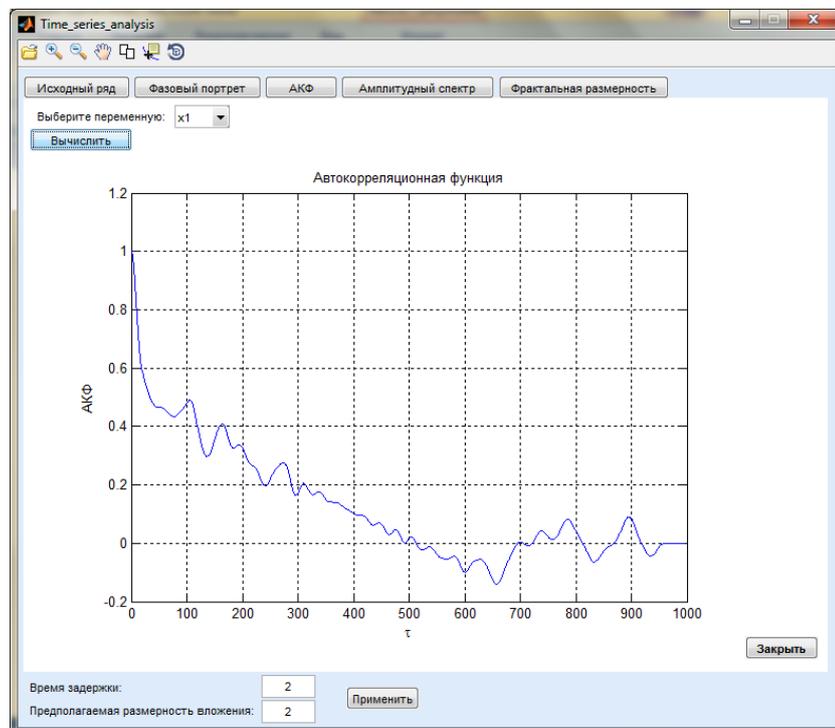


Рисунок 14 – Интерфейс вкладки «АКФ»

На вкладке «**Амплитудный спектр**» представлены (рисунок 15):

- кнопка «Вычислить», предназначенная для вычисления и построения амплитудного спектра;
- поле для задания максимального значения частотного диапазона;
- графический объект Axes для построения амплитудного спектра.

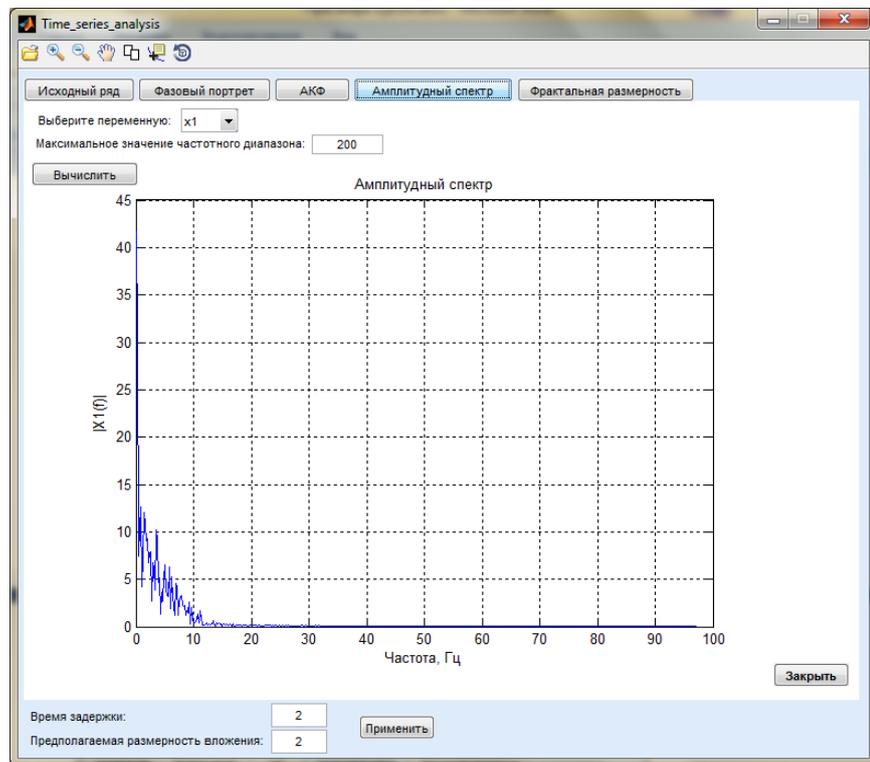


Рисунок 15 – Интерфейс вкладки «Амплитудный спектр»

На рассмотренных вкладках (рисунок 12, 14-15) для каждой фазовой координаты можно построить график исходных данных, АКФ и амплитудный спектр, для этого нужно выбрать фазовую координату из списка, расположенного у поля «Выберите переменную».

На вкладке «**Фрактальная размерность**» представлены (рисунок 16):

- кнопки «Вычислить корреляционный интеграл», «Выбрать интервал»»
- 2 графических объекта Axes для построения зависимости корреляционного интеграла от радиуса корреляции и производной корреляционного интеграла;

– поле «Всего точек» для ввода данных и поле «Корреляционная размерность» для вывода полученного результата.

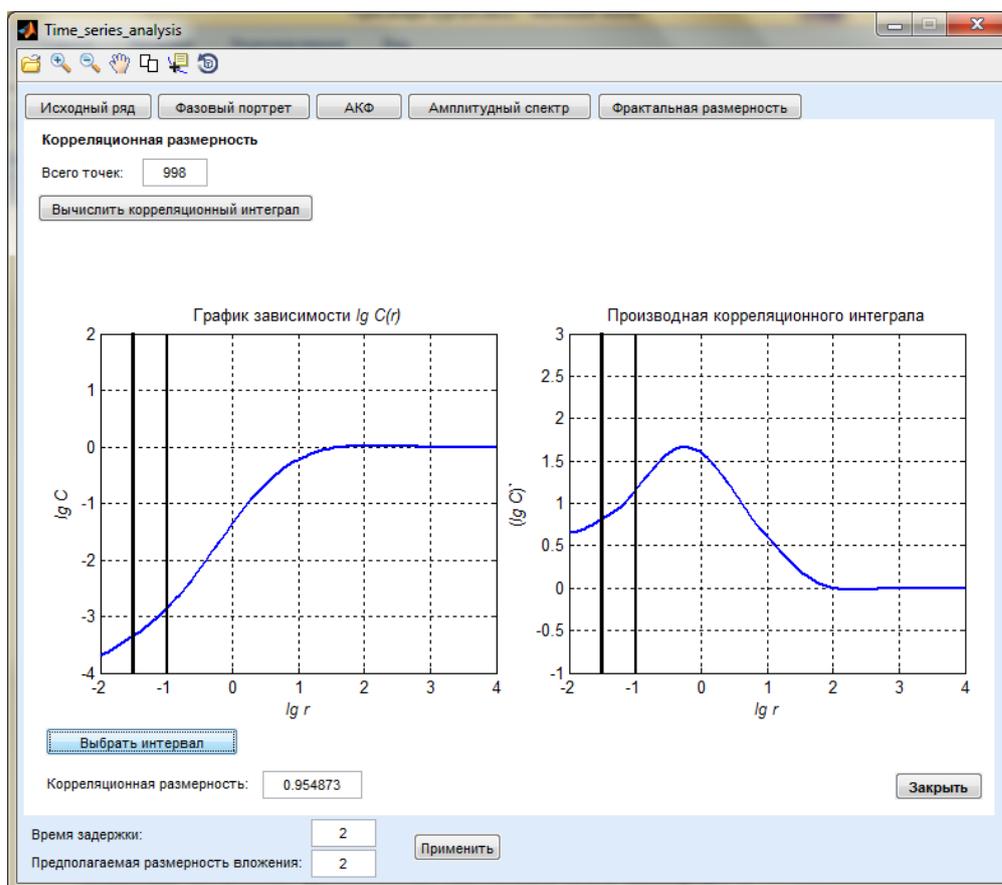


Рисунок 16 – Интерфейс вкладки «Фрактальная размерность»

Таким образом, для того чтобы вычислить корреляционную размерность:

1) вычисляем корреляционный интеграл, для этого нажимаем кнопку «Вычислить корреляционный интеграл», в результате получаем 2 графика.

2) Нажимаем «Выбрать интервал», и, используя стрелки клавиатуры (вправо, влево), выбираем левую и правую границу интервала, для фиксации (выбора) границы нажимаем клавишу Enter.

Если обе границы выбраны, то после нажатия Enter, результат отобразится в поле «Корреляционная размерность».

3) Чтобы повторно выбрать интервал, снова нажимаем кнопку «выбрать интервал». После смены интервала значение корреляционной размерности будет пересчитано.

3.6 Тестирование программы на известных системах

Система Лоренца

$$\begin{cases} \dot{x} = 10(y - x), \\ \dot{y} = rx - y - xz, \\ \dot{z} = xy - \frac{8}{3}z. \end{cases} \quad (7)$$

Согласно теории, корреляционная размерность системы Лоренца (7):
 $d_{теор} = 2,05 \pm 0,01$.

Корреляционная размерность подсчитана при различных значениях параметра r (таблица 2).

Таблица 2 – Зависимость корреляционной размерности от параметра r

r	d
10	0,0866
13,92	0,1833
20	1,3070
24,7368	1,9492
25	1,9703
30	1,9989
32	1,9664
34	2,0824
35,74	2,0699
37	2,0805
39	2,0444

Отображение Энона

$$\begin{cases} x_{n+1} = 1 - \alpha x_n^2 + y_n, \\ y_{n+1} = \beta x_n. \end{cases} \quad (8)$$

Согласно теории, корреляционная размерность отображения Энона (8):
 $d_{теор} = 1,21 \pm 0,001$ (при $\alpha = 1,4$ и $\beta = 0,3$).

В результате эксперимента при данных параметрах получено: $d = 1,2145$.

Экспериментальные значения рассмотренных систем (7,8) получились близки к теоретическим, а значит, программу можно считать работоспособной.

4 Проведение исследований, результаты и их анализ

4.1 Экспериментальные данные

В качестве экспериментальных данных рассматриваются ЭКГ пациентов с различными типами заболеваний (Таблица 3) [21-22].

Таблица 3 – Экспериментальные данные

№ диагноза	Диагностический класс	Количество человек	Количество отведений
1	Миокардит (Myocarditis)	4	15
2	Здоровые (Healthy controls)	50	
3	Гипертрофия миокарда (Myocardial hypertrophy)	5	
4	Клапанная болезнь сердца (Valvular heart disease)	6	
5	Сердечная недостаточность (Cardiomyopathy/Heart failure)	15	
6	Межжелудочковая блокада (Bundle branch block)	14	
7	Инфаркт миокарда (Myocardial infarction)	148	
8	Аритмия (Dysrhythmia)	14	
9	Желудочковая эктопия (Supraventricular ectopy)	19	12

Имеются следующие отведения ЭКГ: I, II, III, aVR, aVL, aVF, V₁, V₂, V₃, V₄, V₅, V₆, V_x, V_y, V_z, зарегистрированные с частотой дискретизации 1000 Гц. Размер временного ряда исходных данных составляет 3000 значений.

ЭКГ, как правило, регистрируется по нескольким каналам одновременно, поэтому в этом смысле "многомерность" равна "многоканальности" [23]. Исходя из этого, решено объединить исследуемые отведения в обобщенные вектора (по одноименным отведениям), следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_1 = \sqrt{I^2 + (II)^2 + (III)^2}, \\ y_2 = \sqrt{(aVR)^2 + (aVL)^2 + (aVF)^2}, \\ y_3 = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2}, \\ y_4 = \sqrt{V_4^2 + V_5^2 + V_6^2}, \\ y_5 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}. \end{array} \right.$$

Таким образом, получим переменные состояния, являющиеся компонентами обобщенного вектора.

Из 15 отведений ЭКГ отведения aVR, aVL, aVF, V₁-V₆ и редко используемые V_x, V_y, V_z являются линейно независимыми [4]. На примере здорового пациента рассмотрим матрицу парных коэффициентов корреляции обобщенных векторов $y_1 - y_5$ (таблица 4). Из нее можно увидеть, что y_1 и y_2 являются линейно зависимыми. Таким образом, вектор y_1 при расчете корреляционной размерности не будем учитывать, и тем самым уменьшим пространство на 1.

Таблица 4 – Матрица парных коэффициентов корреляции

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
y_1	1,000	1,000	0,812	0,620	0,927
y_2	1,000	1,000	0,812	0,620	0,927
y_3	0,812	0,812	1,000	0,749	0,930
y_4	0,620	0,620	0,749	1,000	0,749
y_5	0,927	0,927	0,930	0,749	1,000

Вычисление корреляционной размерности будет проводиться в трехмерном и четырехмерном пространствах, и условно будет обозначено как d_{234} , d_{2345} соответственно.

4.2 Вычисление корреляционных размерностей и медиан

Для данных, представленных в таблице 3, рассчитаем корреляционные размерности в трехмерном и четырехмерном пространствах, графики размерностей представлены на рисунках 17-18 соответственно.

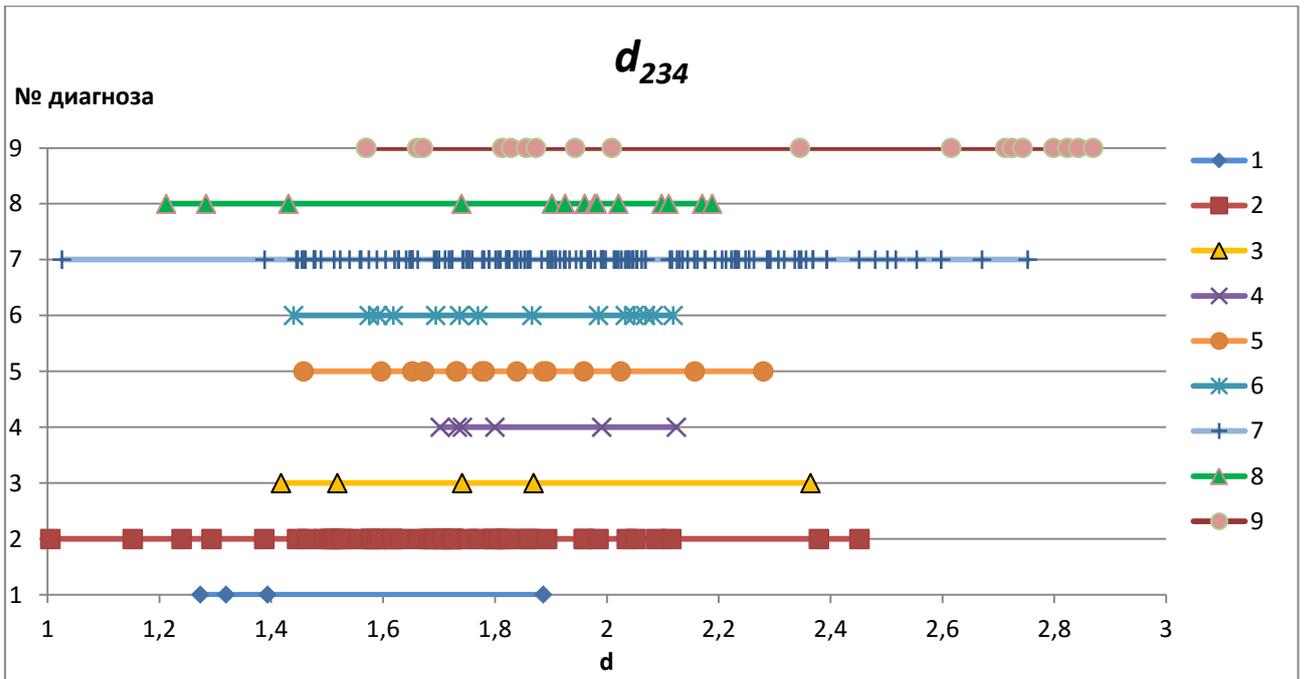


Рисунок 17 – Значения корреляционной размерности d_{234}

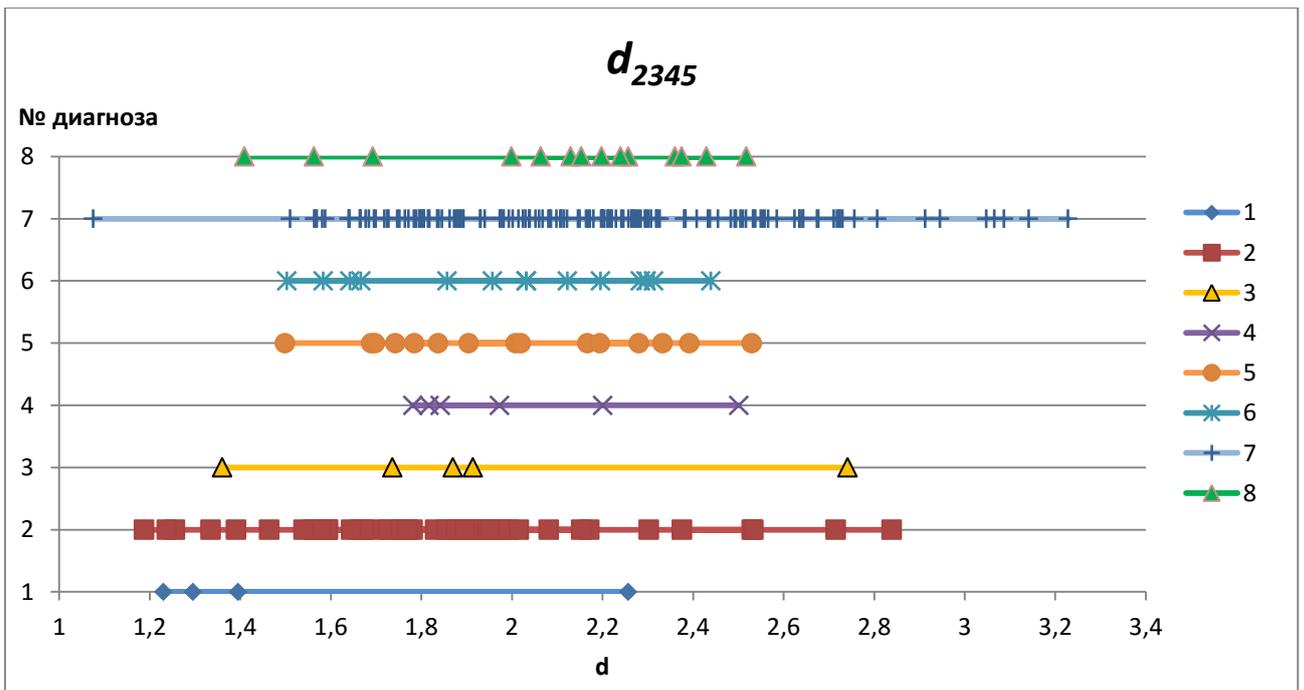


Рисунок 18 – Значения корреляционной размерности d_{2345}

Корреляционные размерности d_{2345} , учитывающие дополнительные отведения, имеют более широкий диапазон значений для всех групп. Рассчитаем медианные корреляционные размерности всех групп и определим пациентов, наиболее близких к медианным значениям (таблица 5). Построим графики полученных медианных значений для трех и четырехмерного

пространства (рисунки 19-20), вертикальные линии на графиках – линии, проходящие через середину между соседними медианами.

Таблица 5 – Медианные корреляционные размерности для всех диагнозов и соответствующие им номера пациентов

№ диагноза	медиана d_{234}	№ пациента	медиана d_{2345}	№ пациента
1	1,3565	271	1,3454	271
2	1,6995	116	1,8434	117
3	1,7414	216	1,8698	216
4	1,7713	107	1,9077	188
5	1,7819	167	2,0085	288
6	1,8183	225	2,0323	175
7	1,9299	108	2,1566	51
8	1,9696	133	2,1758	147
9	2,0093	2	-	-

Во всех группах, кроме первого диагноза, с увеличением размерности пространства (т.е. при учете дополнительных отведений) медианные значения d увеличиваются на 0,1-0,2.

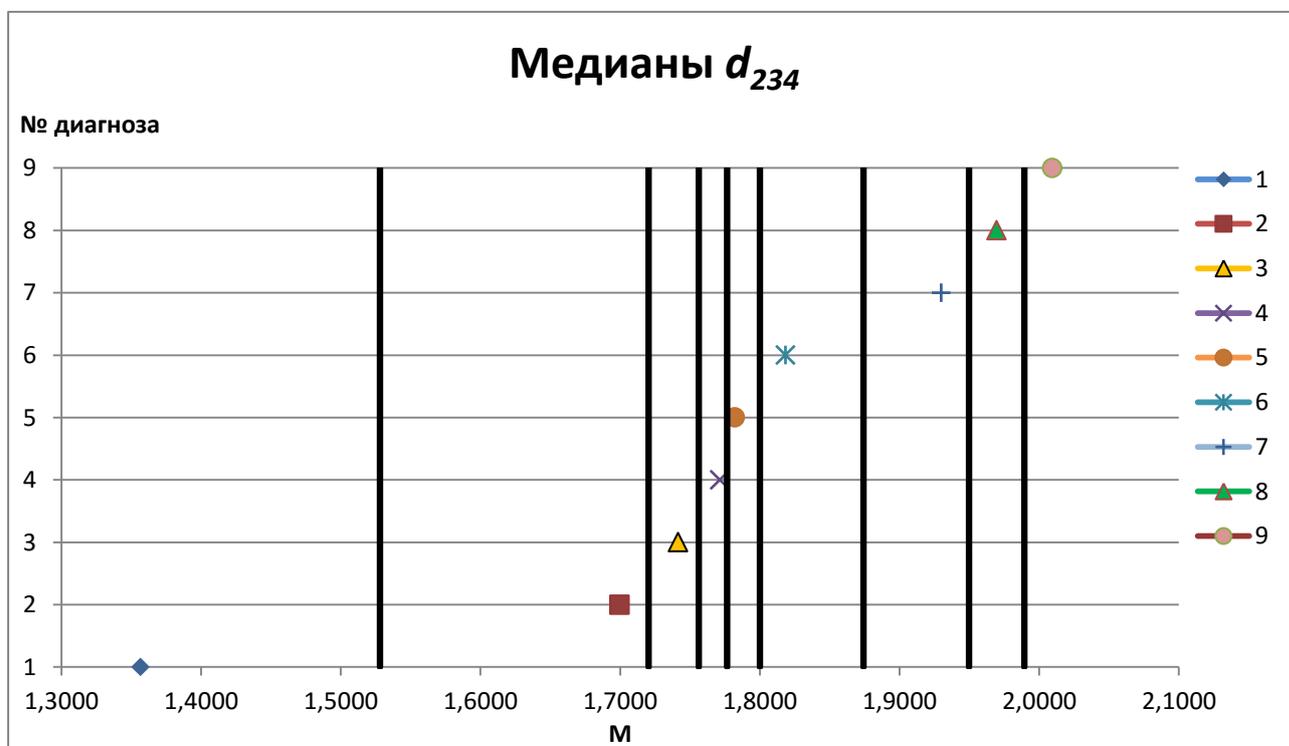


Рисунок 19 – Медианные корреляционные размерности d_{234}

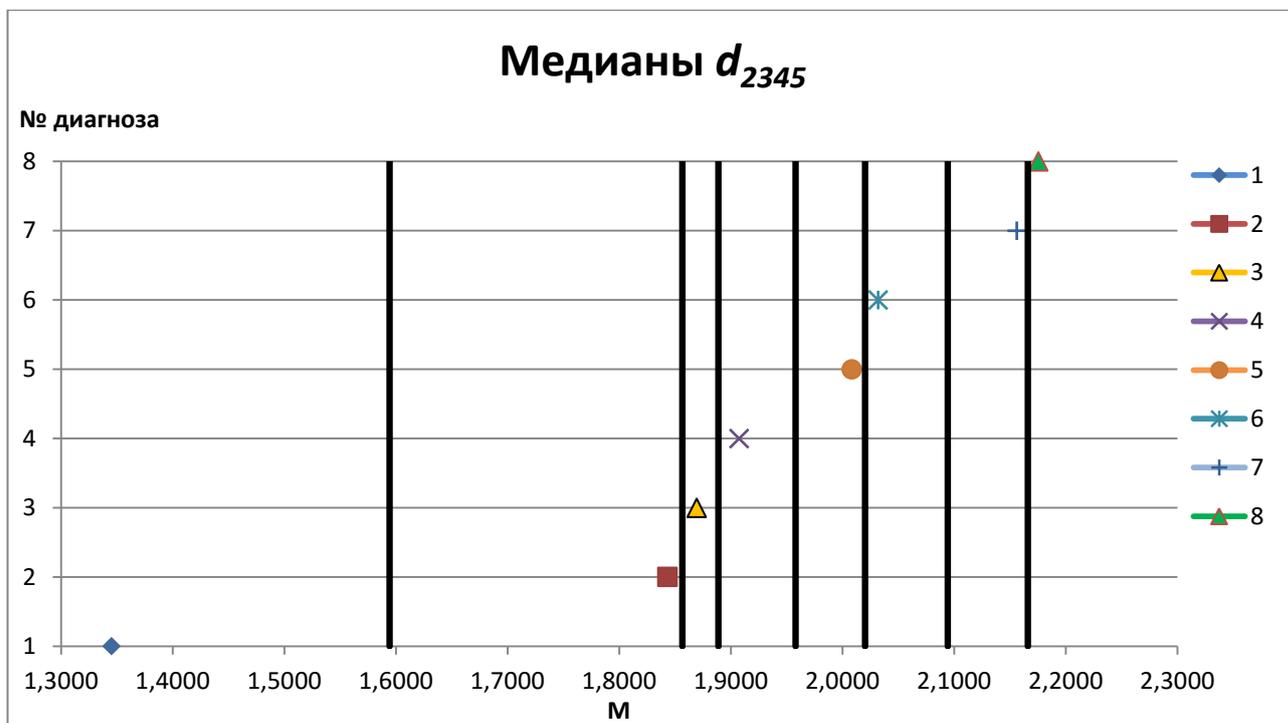


Рисунок 20 – Медианные корреляционные размерности d_{2345}

Все медианы различаются между собой, однако наиболее выраженной является медианное значение больных с диагнозом № 1. В трехмерном пространстве мало различимыми являются показатели для пациентов с диагнозами 3-5, в четырехмерном пространстве – 2-3 и 5-6.

Исследуем влияние количества пациентов на медианное значение корреляционной размерности. Для этого рассчитаем медианы при различном количестве пациентов с диагнозом № 7 (таблица 6).

Таблица 6 – Зависимость медианной корреляционной размерности от числа пациентов

№ эксперимента	Кол-во пациентов	50	75	100	125	148
1	Медиана d_{234}	1,9799	1,9091	1,9546	1,9241	1,9299
2		1,9023	1,9657	1,9203	1,9336	
3		1,9392	1,9550	1,9128	1,9550	
4		1,9676	1,9790	1,9252	1,9263	
5		1,9604	1,9263	1,9054	1,9456	
	Ср. значение	1,94988	1,94702	1,92366	1,93692	

Исходя из полученных результатов, можно увидеть, что медианные значения отличаются друг от друга в третьем знаке. При исследовании 125 пациентов медиана изменяется меньше, чем при меньшем количестве

пациентов, таким образом, делаем вывод, что для исследования размерности необходимо 125-150 пациентов.

4.3 Оценка траекторий в пространстве состояний

Проведем качественную оценку траекторий в пространстве состояний для пациентов со всеми имеющимися диагнозами (таблица 3) наиболее близким к медианным значениям d_{234} (таблица 5), поскольку именно такие пациенты предположительно несут самые характерные свойства своего диагноза. Полученные результаты представлены на рисунках 21-23.

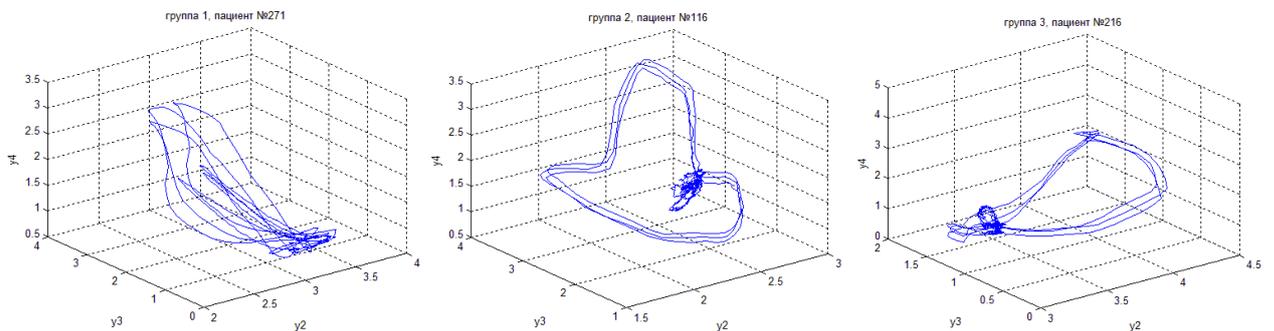


Рисунок 21 – Траектории в пространстве состояний для пациентов с диагнозами № 1 (слева), № 2 (по центру), № 3 (справа)

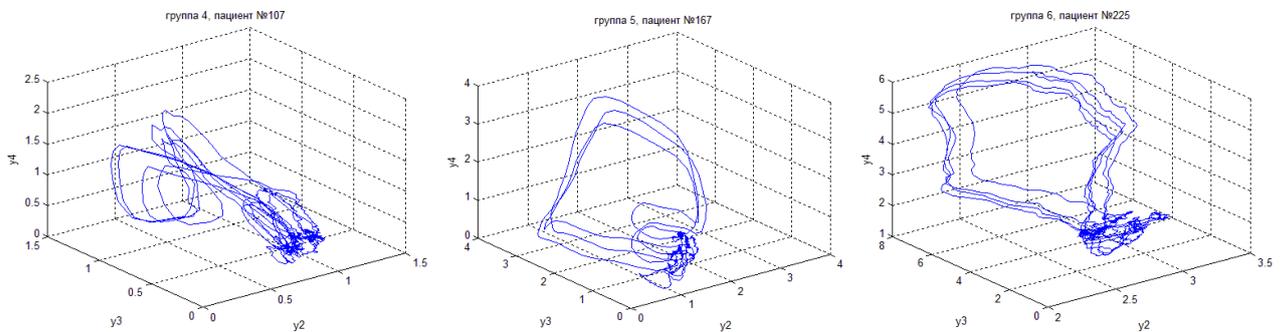


Рисунок 22 – Траектории в пространстве состояний для пациентов с диагнозами № 4 (слева), № 5 (по центру), № 6 (справа)

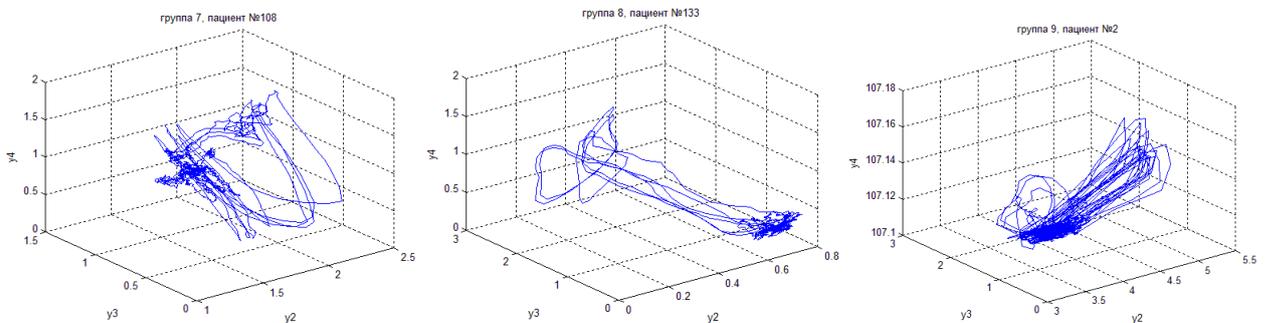


Рисунок 23 – Траектории в пространстве состояний для пациентов с диагнозами № 7 (слева), № 8 (по центру), № 9 (справа)

Все траектории существенно отличаются между собой, однако траектории диагнозов № 2, 3, 5 и 6 близки к периодическим процессам, в отличие от остальных диагнозов (1, 4, 7-9), траектории которых имеют более сложную конфигурацию.

Определим, сохраняется ли вид траектории в пространстве состояний для пациентов наиболее близких к медианным значениям d_{234} . Для этого проведем качественную оценку для диагнозов с наибольшим количеством пациентов (№ 2 и 7), по 5 пациентов с данными диагнозами.

Для диагноза № 2 рассмотрим пациентов № 104, 239, 116, 242, 260 (рисунок 24), значения их корреляционных размерностей представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Значения корреляционных размерностей пациентов с диагнозом № 2, наиболее близких к медианному значению

№ пациента	d_{234}	$ M-d_{234} $
104	1,6823	0,0171
239	1,6894	0,0100
116	1,6918	0,0078
242	1,7072	0,0078
260	1,7082	0,0087

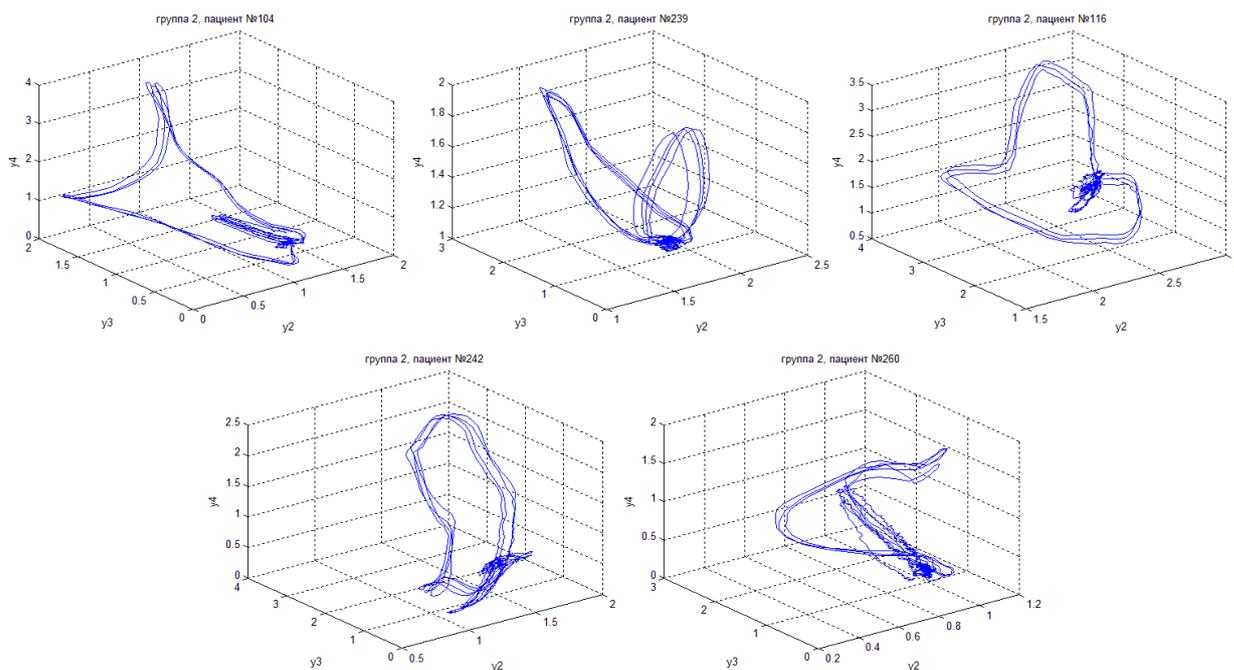


Рисунок 24 – Траектории в пространстве состояний для пациентов с диагнозом № 2

У пациентов № 116 и 242 наиболее схожие траектории, причем разница с медианой у них минимальна.

Для диагноза № 7 рассмотрим пациентов № 53, 230, 108, 183, 26 (рисунок 25), значения их корреляционных размерностей представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Значения корреляционных размерностей пациентов с диагнозом № 7, наиболее близких к медианному значению

№ пациента	d_{234}	$ M-d_{234} $
53	1,9165	0,0133
230	1,9241	0,0057
108	1,9263	0,0036
183	1,9335	0,0036
26	1,9455	0,0156

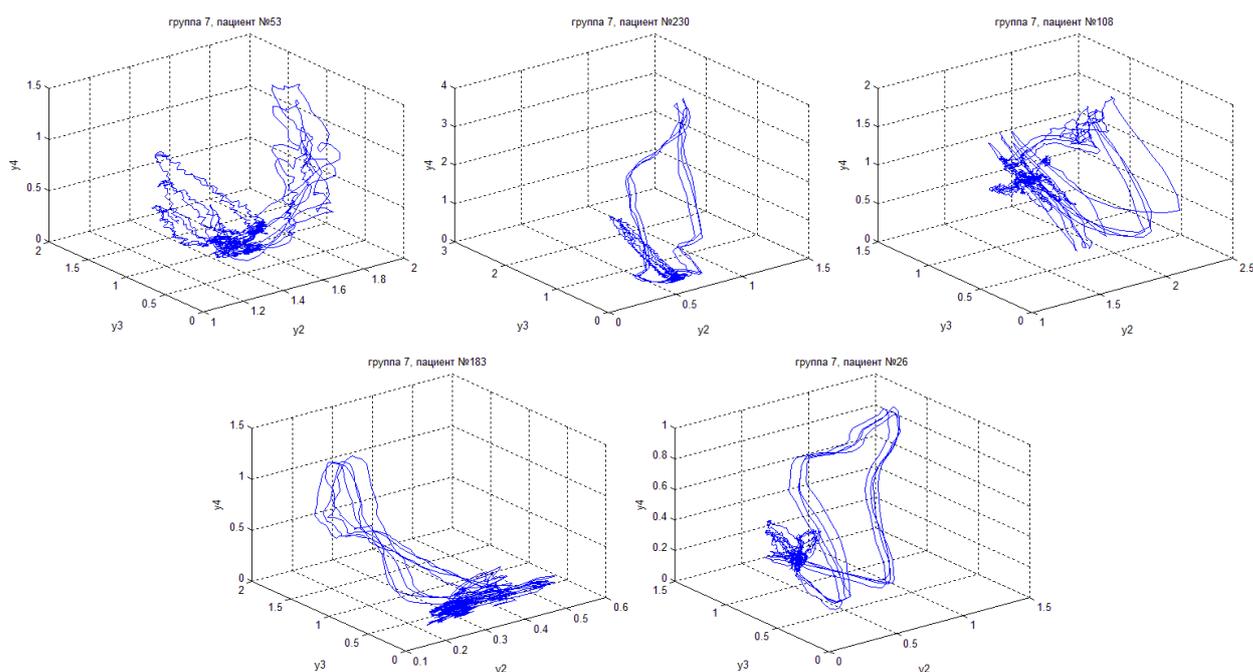


Рисунок 25 – Траектории в пространстве состояний для пациентов с диагнозом № 7

Для всех пациентов с диагнозом № 7 характерна сложная траектория в пространстве состояний.

После рассмотрения траекторий пациентов, близких по значению корреляционной размерности, можно сделать вывод, что близость значений d не дают похожие траектории состояний обобщенных координат для всех

пациентов, но при этом для некоторых пациентов попадаются довольно схожие траектории. Поэтому использовать данные траектории в качестве диагностического параметра пока нет возможности.

Определим, сохраняется ли вид траектории в пространстве состояний внутри каждой болезни. Для этого рассчитаем минимальные, максимальные корреляционные размерности d_{234} и размерности, проходящие через середину между соседними медианами (условно обозначенные как Cp_l и Cp_n) (рисунок 26), для каждого диагноза и определим номера пациентов, которые им соответствуют (таблица 9).

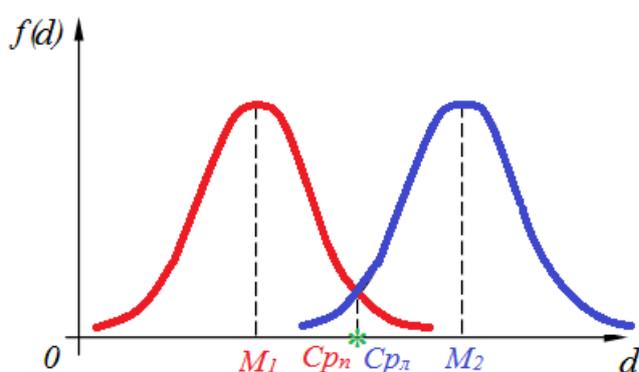


Рисунок 25 – Определение размерностей, проходящих через середину между соседними медианами

Таблица 9 – Номера пациентов, соответствующие d_{min} , Cp_l , M , Cp_n и d_{max}

№ диагноза	d_{min}	№ пациента	Cp_l	№ пациента	медиана d_{234}	№ пациента	Cp_n	№ пациента	d_{max}	№ пациента
1	1,2736	269	-	-	1,3565	271	1,5280	-	1,8864	272
2	1,0056	234	1,5280	248	1,6995	116	1,7205	131	2,4519	184
3	1,4177	250	1,7205	-	1,7414	216	1,7563	-	2,3644	159
4	1,7025	114	1,7563	188	1,7713	107	1,7766	-	2,1247	106
5	1,4583	262	1,7766	288	1,7819	167	1,8001	254	2,2803	253
6	1,4403	208	1,8001	217	1,8183	225	1,8741	-	2,1189	228
7	1,0263	207	1,8741	29	1,9299	108	1,9498	26	2,7532	139
8	1,2122	109	1,9498	147	1,9696	133	1,9894	113	2,1888	187
9	1,5697	69	1,9894	35	2,0093	2	-	-	2,8695	12

Результаты в виде графиков представлены в таблицах 10-12. Из них можно сделать вывод, что траектории в пространстве состояний пациентов внешне разнообразны как между группами заболеваний, так и внутри одного

заболевания. Наиболее сильно выделяются траектории для диагнозов № 2 (здоровые пациенты) и 7 (пациенты с инфарктом миокарда). Так для здоровых пациентов характерны траектории схожие с циклическими процессами, а для инфаркта миокарда получены траектории со сложной структурой.

Таблица 10 – Траектории в пространстве состояний пациентов с диагнозами №1-3, соответствующие d_{min} , Cp_l , M , Cp_n и d_{max}

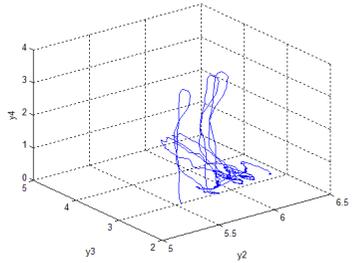
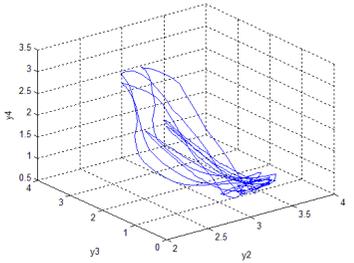
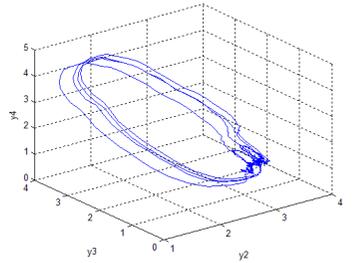
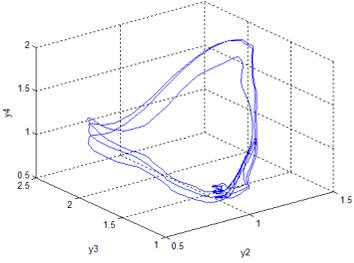
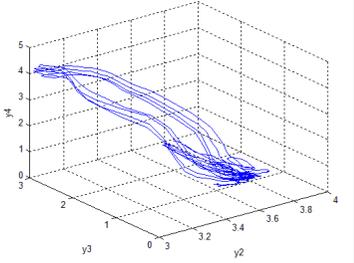
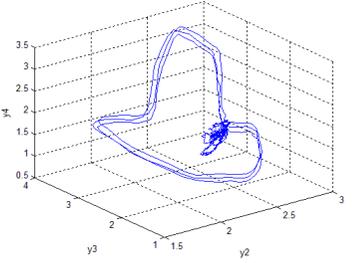
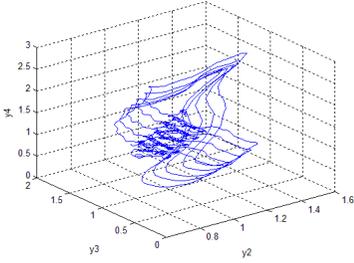
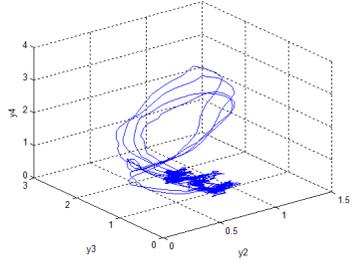
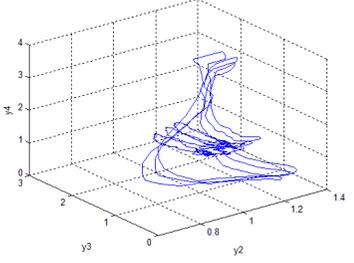
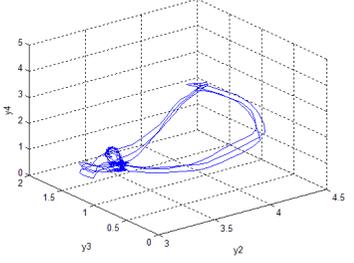
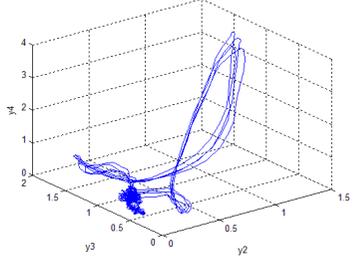
№	d_{min}	Cp_l	M	Cp_n	d_{max}
1	<p>группа 1, пациент №269</p> 	-	<p>группа 1, пациент №271</p> 	-	<p>группа 1, пациент №272</p> 
2	<p>группа 2, пациент №234</p> 	<p>группа 2, пациент №248</p> 	<p>группа 2, пациент №116</p> 	<p>группа 2, пациент №131</p> 	<p>группа 2, пациент №184</p> 
3	<p>группа 3, пациент №250</p> 	-	<p>группа 3, пациент №216</p> 	-	<p>группа 3, пациент №159</p> 

Таблица 11 – Траектории в пространстве состояний пациентов с диагнозами №4-6, соответствующие d_{min} , Cp_l , M , Cp_n и d_{max}

№	d_{min}	Cp_l	M	Cp_n	d_{max}
4	<p>группа 4, пациент №114</p>	<p>группа 4, пациент №188</p>	<p>группа 4, пациент №107</p>	-	<p>группа 4, пациент №106</p>
5	<p>группа 5, пациент №262</p>	<p>группа 5, пациент №288</p>	<p>группа 5, пациент №167</p>	<p>группа 5, пациент №254</p>	<p>группа 5, пациент №253</p>
6	<p>группа 6, пациент №208</p>	<p>группа 6, пациент №217</p>	<p>группа 6, пациент №225</p>	-	<p>группа 6, пациент №228</p>

Таблица 12 – Траектории в пространстве состояний пациентов с диагнозами №7-9, соответствующие d_{min} , Cp_l , M , Cp_n и d_{max}

№	d_{min}	Cp_l	M	Cp_n	d_{max}
7	<p>группа 7, пациент №207</p>	<p>группа 7, пациент №29</p>	<p>группа 7, пациент №108</p>	<p>группа 7, пациент №26</p>	<p>группа 7, пациент №139</p>
8	<p>группа 8, пациент №109</p>	<p>группа 8, пациент №147</p>	<p>группа 8, пациент №133</p>	<p>группа 8, пациент №113</p>	<p>группа 8, пациент №187</p>
9	<p>группа 9, пациент №69</p>	<p>группа 9, пациент №35</p>	<p>группа 9, пациент №2</p>	<p>—</p>	<p>группа 9, пациент №12</p>

4.4 Эксперимент с пациентами с неизвестными диагнозами

Для 10 пациентов с неизвестными диагнозами [24] рассчитаем корреляционную размерность d_{234} (таблица 13), данную группу обозначим номером 10 и построим графики корреляционных размерностей с учетом ранее полученных результатов (рисунок 26).

Таблица 13 – Корреляционные размерности пациентов с неизвестными диагнозами

Пациенты	Порядковый номер	d_{234}
1027294	1	2,1985
1005639	2	2,3850
1007823	3	2,4810
1021036	4	2,4880
1009404	5	2,5345
1013179	6	2,5599
1002867	7	2,5969
1009856	8	2,6585
1027085	9	2,7442
1015620	10	2,8137

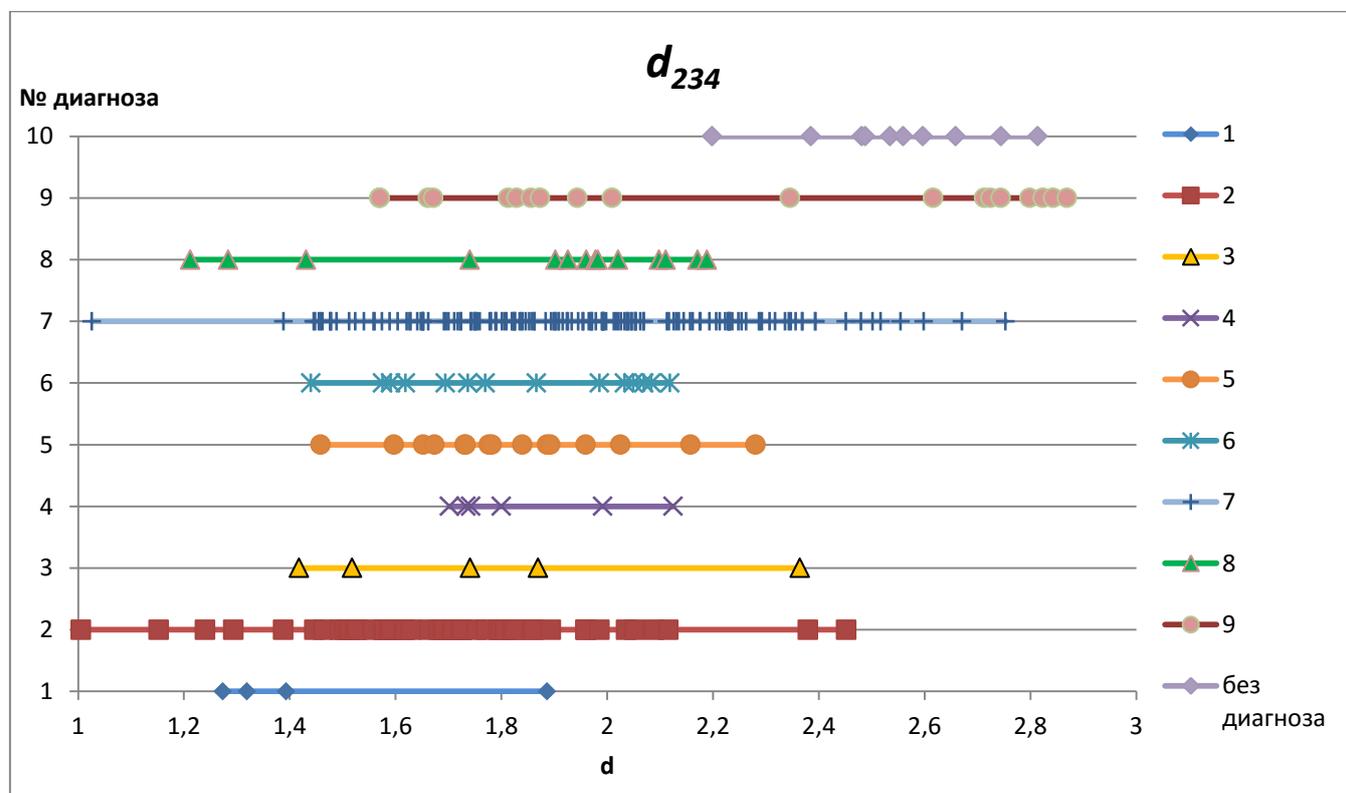
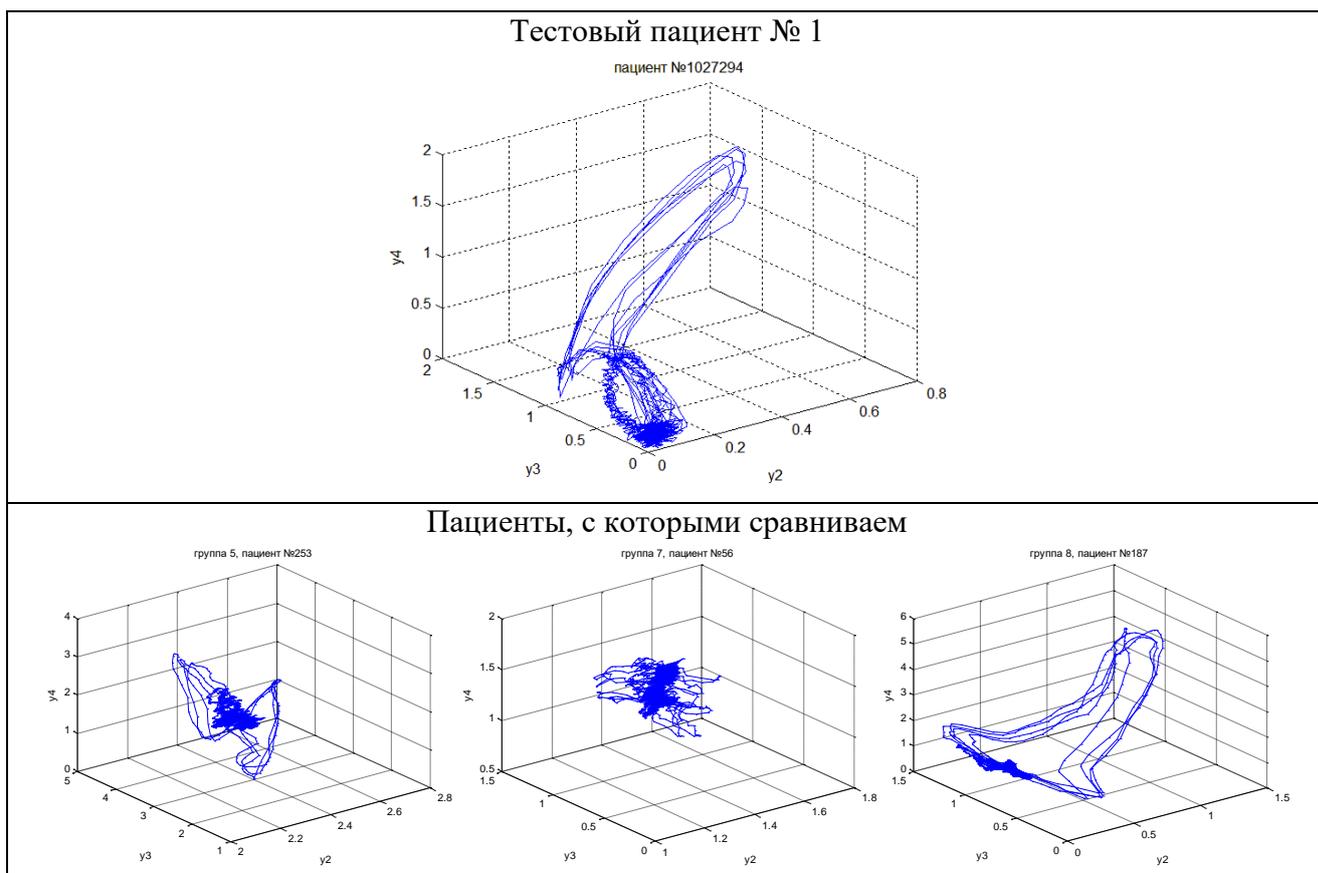


Рисунок 26 – Графики корреляционной размерности d_{234} с группой пациентов без диагноза

Сравним траектории пациентов с неизвестными диагнозами и с наиболее близкими им по значению d_{234} пациентами с диагнозами.

По значению корреляционной размерности первый пациент из группы 10 близок к пациентам с диагнозом № 5 (пациент № 253), 7 (пациент № 56), 8 (пациент № 187), рассмотрим их траектории в пространстве состояний (таблица 14).

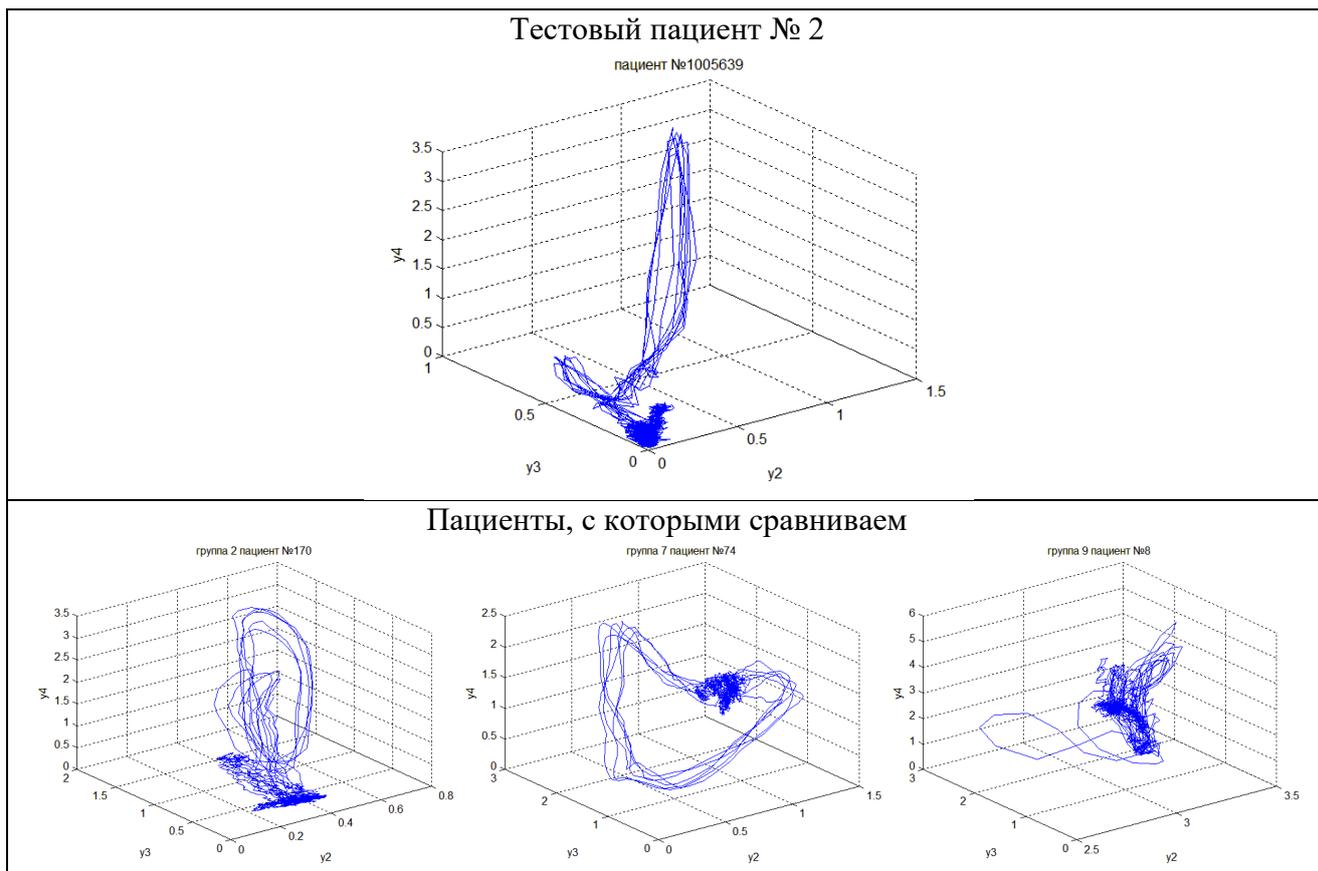
Таблица 14 – Сравнение траекторий для пациента № 1 без диагноза



По виду траектории пациент № 1 структурно больше похож на диагноз № 5.

Второй пациент из группы 10 близок к пациентам с диагнозом № 2 (пациент № 170), 7 (ближе к пациенту №74), 9 (ближе к пациенту №8), их траектории в пространстве состояний представлены в таблице 15.

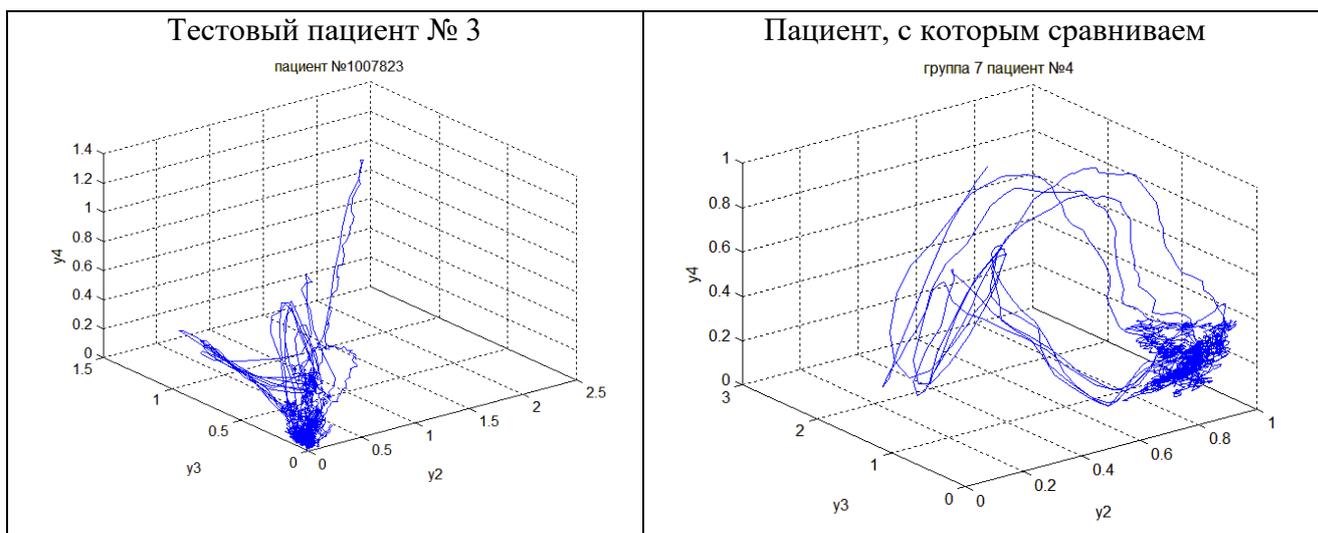
Таблица 15 – Сравнение траекторий для пациента № 2 без диагноза



По виду траектории пациент № 2 больше похож на диагноз № 2.

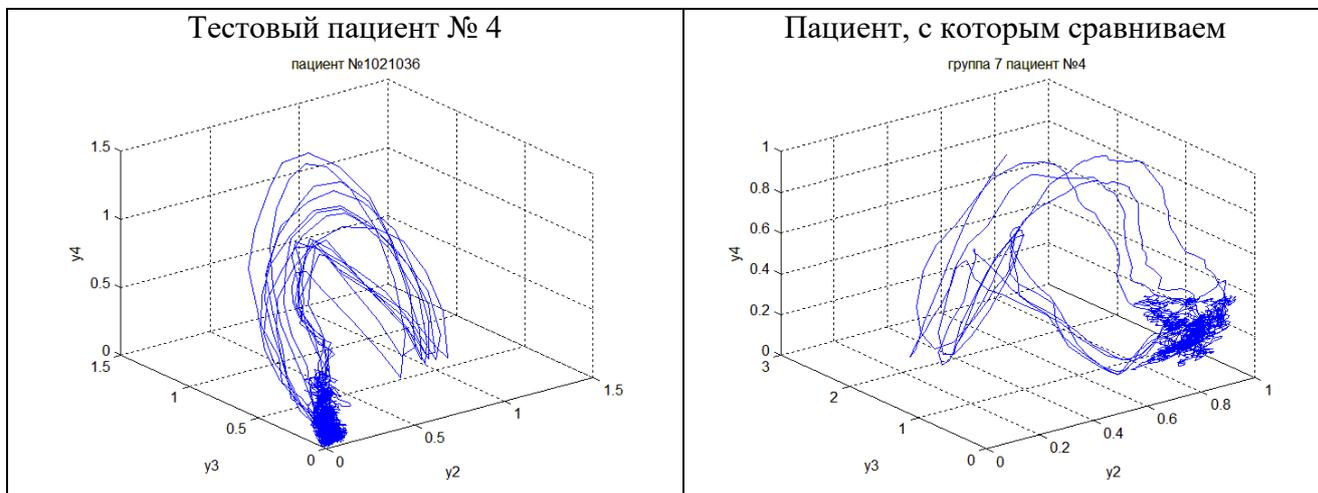
Третий пациент из группы 10 близок к пациенту с диагнозом № 7 (пациент № 4), однако по виду траектории не имеет с ним сходств (таблица 16).

Таблица 16 – Сравнение траекторий для пациента № 1 без диагноза



Четвертый пациент из группы 10 близок к пациенту с диагнозом № 7 (пациент № 4), их траектории в пространстве состояний представлены в таблице 17.

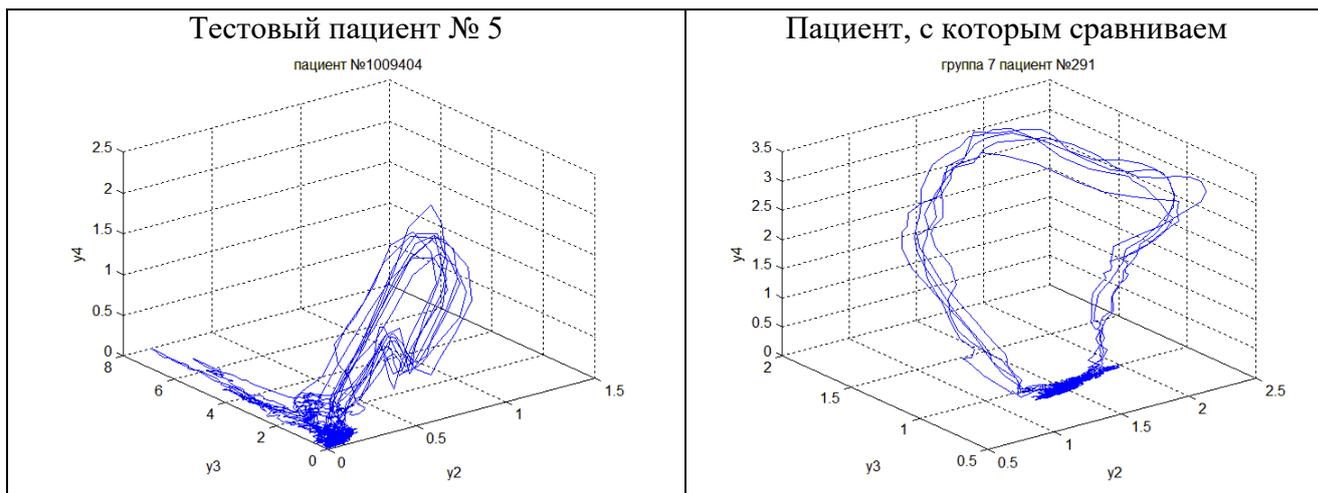
Таблица 17 – Сравнение траекторий для пациента № 4 без диагноза



Пациент № 4 из группы 10 имеет схожую траекторию, что и пациент с диагнозом № 7.

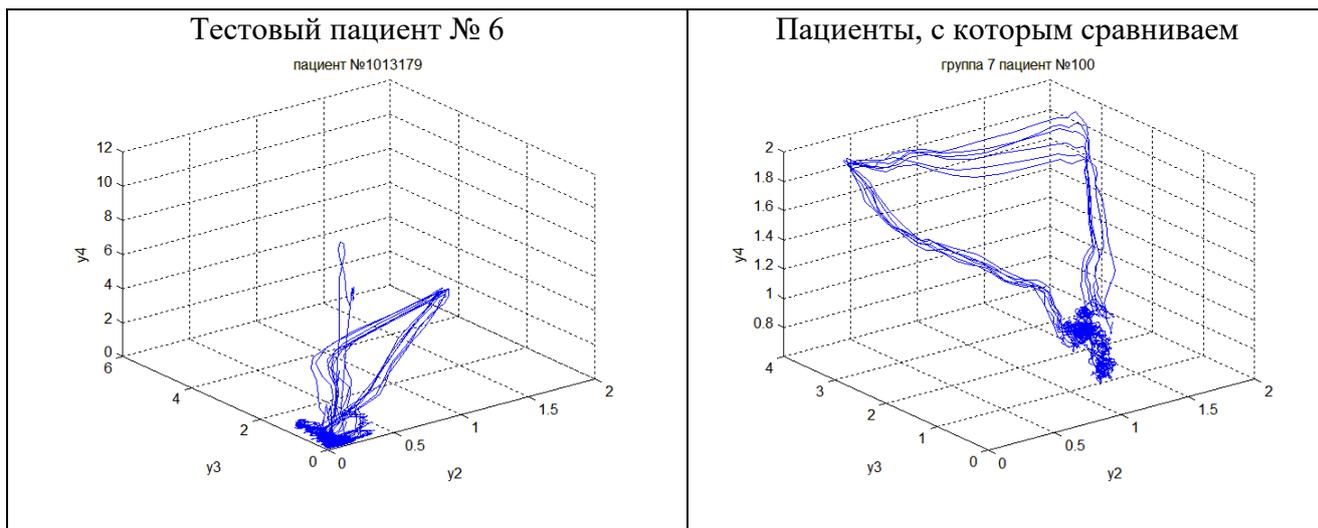
Пятый пациент из группы 10 близок к пациенту с диагнозом № 7 (пациент № 291), но отличается от него по виду траектории (таблица 18).

Таблица 18 – Сравнение траекторий для пациента № 1 без диагноза



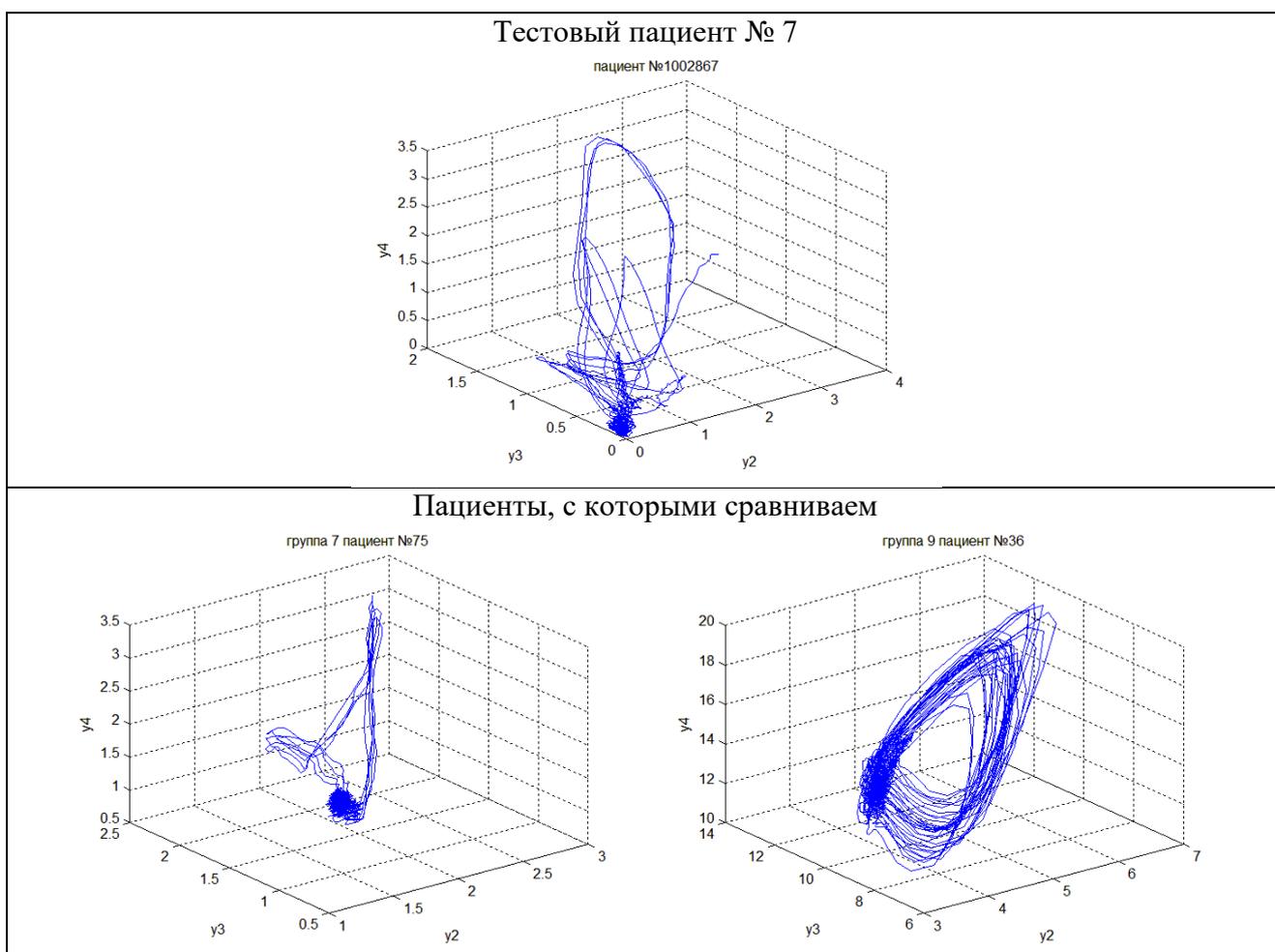
Шестой пациент из группы 10 близок к пациенту с диагнозом № 7 (пациент № 100) и имеет схожую с ним траекторию в пространстве состояний (таблица 19).

Таблица 19 – Сравнение траекторий для пациента № 1 без диагноза



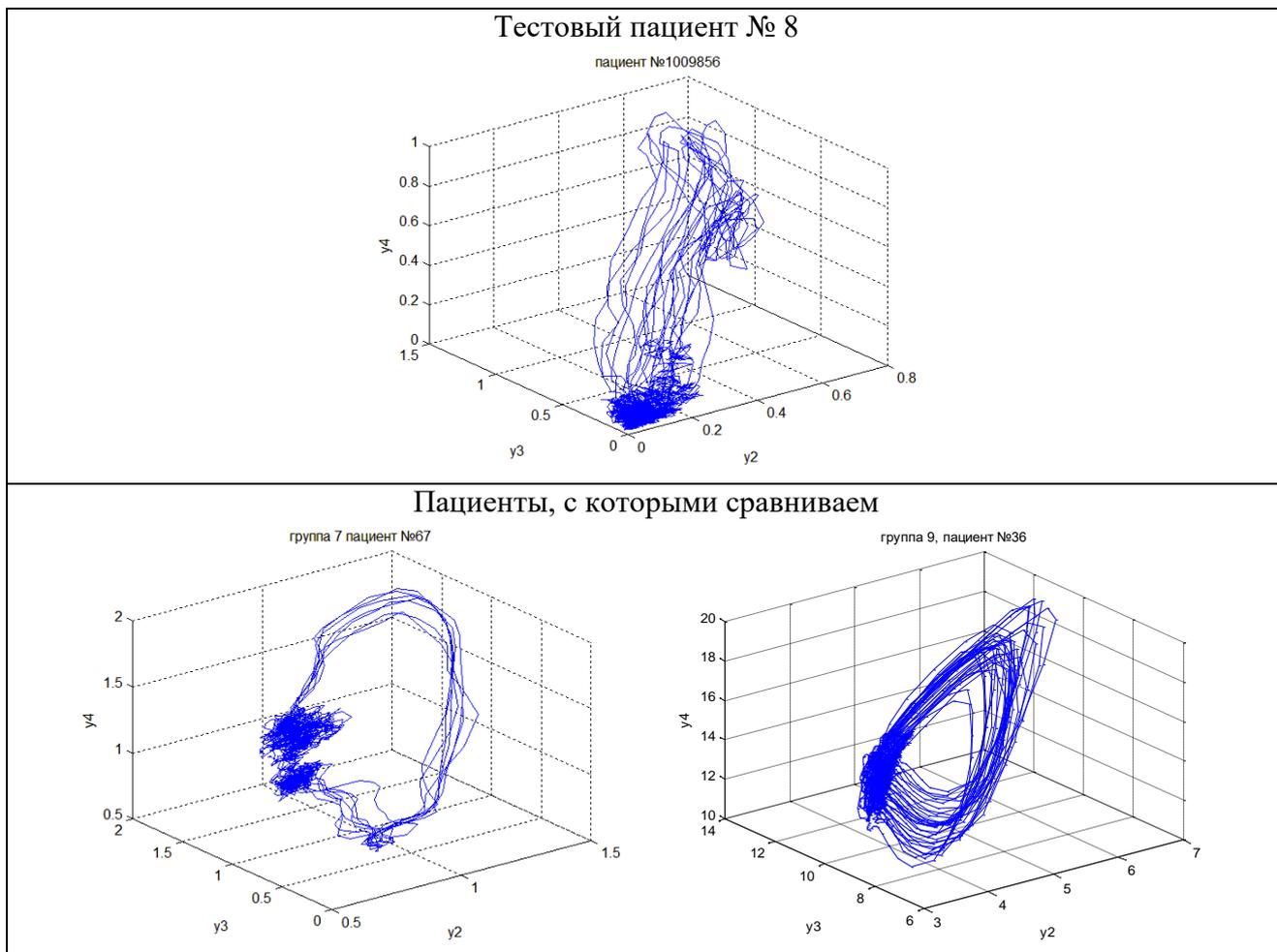
Седьмой пациент из группы 10 близок к пациенту с диагнозом № 7 (пациент № 75) и 9 (пациент № 36) и имеет схожие элементы и с тем и с другим диагнозом в траектории (таблица 20).

Таблица 20 – Сравнение траекторий для пациента № 1 без диагноза



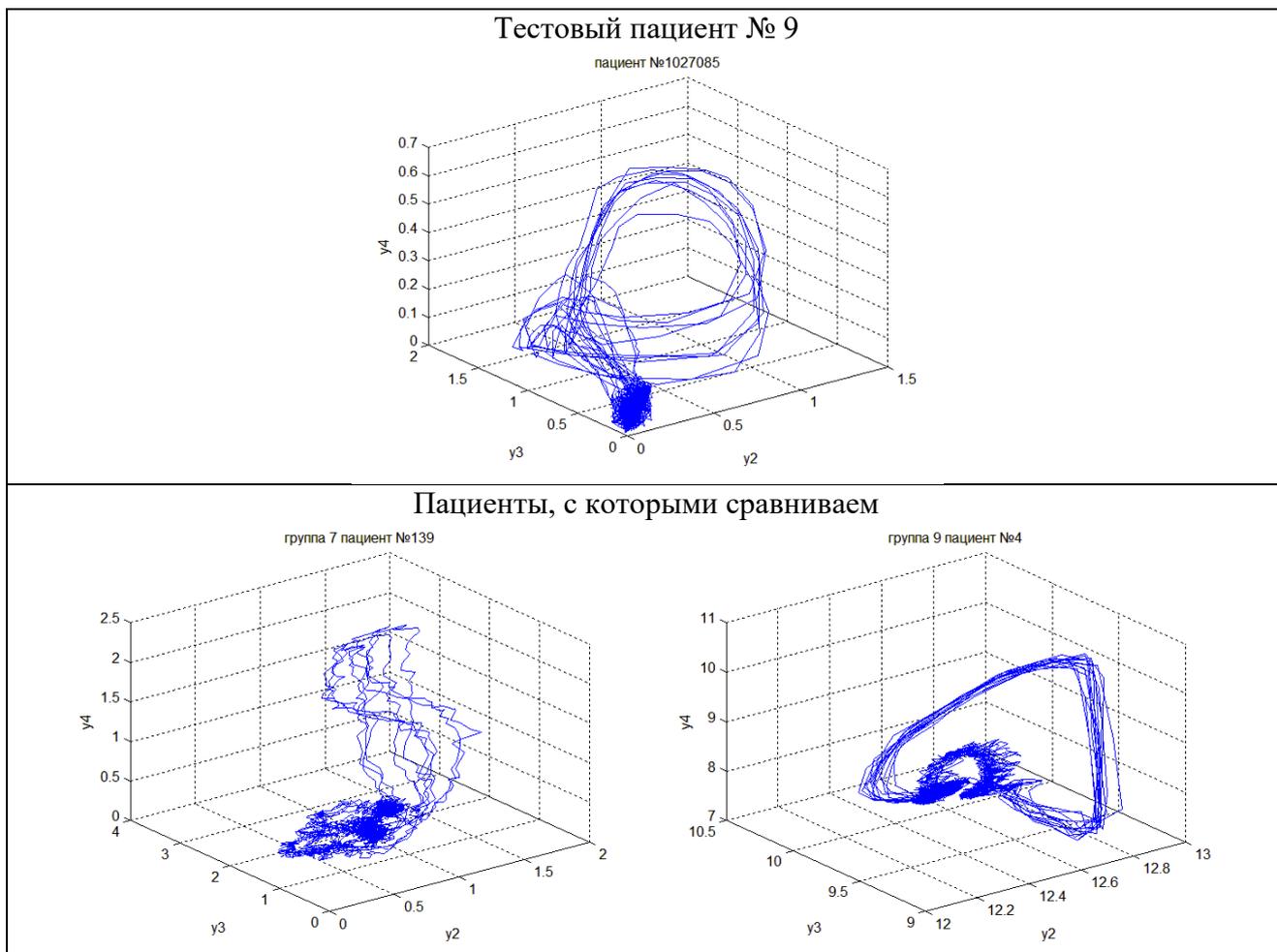
Восьмой пациент из группы 10 близок к пациенту с диагнозом № 7 (пациент № 67), 9 (пациент № 36), однако по виду траектории не имеет с ними сходств (таблица 21).

Таблица 21 – Сравнение траекторий для пациента № 8 без диагноза



Девятый пациент из группы 10 близок к пациенту с диагнозом № 7 (пациент № 139) и 9 (пациент № 4), их траектории в пространстве состояний представлены в таблице 22.

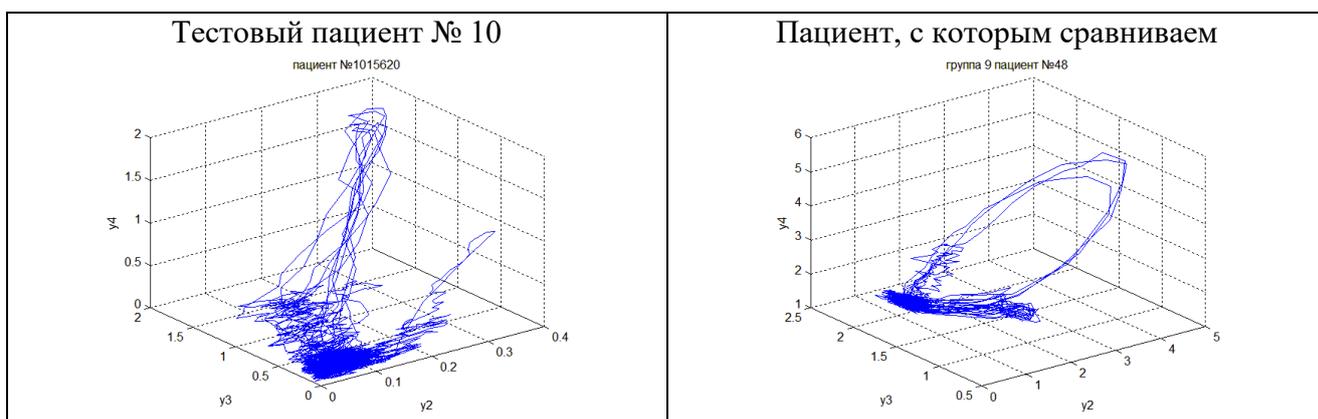
Таблица 22 – Сравнение траекторий для пациента № 9 без диагноза



По виду траектории пациент № 9 из группы 10 структурно больше похож на диагноз № 9.

Десятый пациент из группы 10 близок к пациенту с диагнозом № 9 (пациент № 48), однако по виду траектории не имеет с ним сходств (таблица 23).

Таблица 23 – Сравнение траекторий для пациента № 10 без диагноза



После проведенных экспериментов, можно сделать следующие выводы:

1. Пациенты с различными заболеваниями имеют различные значения корреляционной размерности, однако имеют большие пересечения в интервалах значений между различными диагнозами. Это может быть связано с переходом одного заболевания в другое или неверной постановкой диагноза экспериментальных данных исследуемых пациентов, поэтому требуется консультация специалиста в области кардиологии по данным вопросам.

2. При исследовании траекторий в пространстве состояний обнаружены как схожие, так и различные структуры внутри одного заболевания. Замечено, что здоровые пациенты и пациенты с инфарктом миокарда имеют абсолютно разные траектории.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ41	Присакарь Анастасия Владимировна

Институт	кибернетики	Кафедра	ПМ
Уровень образования	магистр	Направление	Прикладная математика и информатика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>«Портрет» потребителя результатов НТИ</i>
2. <i>Сегментирование рынка</i>
3. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
4. <i>Диаграмма FAST</i>
5. <i>Матрица SWOT</i>
6. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>
7. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>
8. <i>Потенциальные риски</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ41	Присакарь Анастасия Владимировна		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Экономическая часть ВКР предназначена для комплексного описания и анализа финансово-экономических аспектов выполненной работы. Целью данного раздела является планирование и формирование бюджета научных исследований, определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Целью данной ВКР является исследование ЭКГ методами нелинейной динамики для диагностики кардиозаболеваний.

5.1 Организация и планирование работ

При организации работ необходимо планировать занятость каждого участника проекта в работе. На данном этапе определяется полный перечень работ, распределение времени работ между всеми участниками. В качестве структуры, показывающей необходимые данные, используется линейный график работ, представленный в таблице 24.

Таблица 24 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Этапы работы	№ работ	Содержание работ	Исполнители	Загрузка исполнителей
Разработка технического задания	1	Постановка целей и задач	НР, С	НР – 100% С – 50%
	2	Составление и утверждение ТЗ	НР, С	НР – 100% С – 50%
	3	Составление и утверждение календарного плана работ	НР, С	НР – 50% С – 100%
Определение направлений исследований и проектирование	4	Подбор и изучение материалов по теме	НР, С	НР – 20% С – 100%
	5	Уточнение и корректировка методов решения	НР, С	НР – 50% С – 50%
Создание программы	6	Реализация алгоритма вычисления корреляционной размерности	НР, С	НР – 10% С – 100%
	7	Реализация GUI приложения	С	С – 100%
	8	Тестирование разработанного приложения	С	С – 100%
Исследование ЭКГ	9	Сбор и обработка исходных данных	НР, С	НР – 20% С – 100%
	10	Исследование фазовых портретов и вычисление	С	С – 100%

		исследуемого показателя		
Анализ и оформление результатов	11	Анализ результатов исследований	НР, С	НР – 50% С – 50%
	12	Оформление пояснительной записки	С	С – 100%
	13	Подведение итогов	НР, С	НР – 60% С – 100%

НР – научный руководитель.

С – студентка Присакарь Анастасия Владимировна

5.1.1 Продолжительность этапов работ

Для определения трудоемкости выполнения работ необходимо на основе экспертной оценки ожидаемой трудоемкости выполнения каждой работы рассчитать длительность работ в рабочих и календарных днях для каждого из вариантов исполнения работ последующим формулам:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая продолжительность работы, дн.;

t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

Исходя из ожидаемой продолжительности работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях $T_{РД}$, учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д},$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1.2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}$$

где $T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 366$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 12$).

$$T_{К} = \frac{366}{366 - 52 - 12} = 1,21.$$

В таблице 25 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 25 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	С	НР	С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка целей и задач	НР, С	2	4	2,8	3,36	1,68	4,07	2,03
Составление и утверждение ТЗ	НР, С	2	4	2,8	3,36	1,68	4,07	2,03
Составление и утверждение календарного плана работ	НР, С	4	6	4,8	2,88	5,76	3,48	6,97
Подбор и изучение материалов по теме	НР, С	12	15	13,2	3,17	15,84	3,83	19,17
Уточнение и корректировка методов решения	НР, С	3	6	4,2	2,52	2,52	3,05	3,05
Реализация алгоритма	НР, С	10	15	12	1,44	14,40	1,74	17,42

вычисления корреляционной размерности								
Реализация GUI приложения	С	7	14	9,8	-	11,76	-	14,23
Тестирование разработанного приложения	С	4	7	5,2	-	6,24	-	7,55
Сбор и обработка исходных данных	НР, С	10	20	14	3,36	16,80	4,07	20,33
Исследование фазовых портретов и вычисление исследуемого показателя	С	2	5	3,2	-	3,84	-	4,65
Анализ результатов исследований	НР, С	5	10	7	4,20	4,20	5,08	5,08
Оформление пояснительной записки	С	10	20	14	-	16,80	-	20,33
Подведение итогов	НР, С	2	5	3,2	2,30	3,84	2,79	4,65
Итого:				96,2	26,59	105,36	32,18	127,49

Для наглядного отображения графика и распределения работ между участниками проекта использована диаграмма Ганта. Диаграмма Ганта представляет собой линейный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующиеся датами начала и окончания выполнения того или иного этапа работ (таблица 26).

Таблица 26 – Линейный график работ

Этап	НР	С	Январь		Февраль			Март			Апрель			Май		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
1	4,07	2,03	■													
2	4,07	2,03	■	■												
3	3,48	6,97		■	■											
4	3,83	19,17			■	■	■	■								
5	3,05	3,05					■									
6	1,74	17,42					■	■	■							
7	-	14,23						■	■	■						
8	-	7,55							■	■						
9	4,07	20,33								■	■	■	■			
10	-	4,65											■			
11	5,08	5,08												■		
12	-	20,33												■	■	■
13	2,79	4,65														■

НР – ■; С ■

5.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Показатель технической готовности ВКР характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ. Данный показатель позволяет точно знать, на каком уровне выполнения находится определенный этап или работа.

Степень готовности определяется формулой

$$СГ_i = \frac{ТР_i^H}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i ТР_k}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m ТР_{km}}{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m ТР_{km}},$$

где $ТР_{общ.}$ – общая трудоемкость проекта;

$ТР_i$ ($ТР_k$) – трудоемкость i -го (k -го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;

$ТР_i^H$ – накопленная трудоемкость i -го этапа проекта по его завершении;

$ТР_{ij}$ ($ТР_{kj}$) – трудоемкость работ, выполняемых j -м участником на i -м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, в нашем примере $m = 2$.

Таблица 27 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	$ТР_i$, %	$СГ_i$, %
Постановка целей и задач	2,91	2,91
Составление и утверждение ТЗ	2,91	5,82
Составление и утверждение календарного плана работ	4,99	10,81
Подбор и изучение материалов по теме	13,72	24,53
Уточнение и корректировка методов решения	4,37	28,90
Реализация алгоритма вычисления корреляционной размерности	12,47	41,37
Реализация GUI приложения	10,19	51,56
Тестирование разработанного приложения	5,41	56,96
Сбор и обработка исходных данных	14,55	71,52
Исследование фазовых портретов и вычисление исследуемого показателя	3,33	74,84
Анализ результатов исследований	7,28	82,12
Оформление пояснительной записки	14,55	96,67
Подведение итогов	3,33	100,00

5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации проекта. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

5.2.1 Расчет затрат на материалы

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Все расчеты сведены в таблицу 28.

Таблица 28 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	250	1 уп.	250
Заправкакартриджа принтера	300	1 шт.	300
Итого:			550

ТЗР (транспортно-заготовительные расходы) составляют 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 550 * 1,05 = 577,5$ руб.

5.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает в себя заработную плату научного руководителя и студента, а также премии и доплаты. Расчет выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада (МО) исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \text{МО} / 25,17$$

учитывающей, что в году 302 рабочих дня и, следовательно, в месяце в среднем 25,17 рабочих дней.

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 29. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 25. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$.

Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,62$.

Таблица 29 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб/мес	Среднедневная ставка, руб/раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фондз/платы, руб.
НР	23 264,86	924,31	27	1,699	42 400,83
С	20 000	794,60	105	1,62	135 160,91
Итого:					177 1,74

5.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3$.
Итак, в нашем случае $C_{\text{соц.}} = 177\,561,74 * 0,3 = 53\,268,52$ руб.

5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}}$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

$Ц_{\text{э}} = 5,257$ руб./квт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} * K_t,$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется исполнителем самостоятельно.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} * K_C$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 30.

Таблица 30 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $\text{Э}_{\text{ОБ}}$, руб.
Персональный компьютер	769,6	0,3	1213,73616
Струйный принтер	1	0,1	0,53
Итого:			1214,26

5.2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии.

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{N_{\text{А}} \cdot C_{\text{ОБ}}}{F_{\text{Д}}} \cdot t_{\text{ВТ}} \cdot n,$$

где $N_{\text{А}}$ – годовая норма амортизации;

$C_{\text{ОБ}}$ – цена оборудования;

$F_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени;

$t_{\text{ВТ}}$ – время работы вычислительной техники при создании программного продукта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Для ПК: $N_{\text{А}} = 40\%$, $C_{\text{ОБ}} = 40000$ руб., $F_{\text{Д}} = 2384$ часа, $t_{\text{ВТ}} = 769.6$ ч, $n = 1$.
 Для струйного принтера: $N_{\text{А}} = 50\%$, $C_{\text{ОБ}} = 12000$ руб., $F_{\text{Д}} = 500$ часов, $t_{\text{ВТ}} = 1$ ч, $n = 1$.

Итак, затраты на амортизационные отчисления ПК составили:

$$C_{\text{ам1}} = \frac{0,4 \cdot 40000}{2384} * 769,6 * 1 = 5165,10.$$

Для струйного принтера:

$$C_{\text{ам2}} = \frac{0,5 \cdot 12000}{500} * 1 * 1 = 12.$$

В итоге амортизационные отчисления составили:

$$C_{\text{ам}} = 5165,10 + 12 = 5177,101.$$

5.2.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е. $C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1$

$$C_{\text{проч.}} = (577,5 + 177\,561,74 + 53268,52 + 1214,26 + 5177,101) \cdot 0,1 = 23\,779,91 \text{ руб.}$$

5.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Таким образом, на основании проведенных ранее подсчетов по отдельным статьям затрат вычислим общую плановую себестоимость исследования (таблица 31).

Таблица 31 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	577,50
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	177561,74
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	53268,52
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1214,26
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	5177,10
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	23779,91
Итого:		261579,03

5.2.8 Расчет прибыли

Так как исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль составит 20% от полной себестоимости проекта, или **52315,81**руб.

5.2.9 Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(261579,03 + 52315,81) \cdot 0,18 = 56501,07$ руб.

5.2.10 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$Ц_{НИР(КР)} = 261579,03 + 52315,81 + 56501,07 = 370395,91 \text{ руб.}$$

5.3 Оценка экономической эффективности проекта

Данный проект не был ориентирован на экономический результат, главная цель проекта – показать возможность постановки диагноза по значению корреляционной размерности ЭКГ.

Данная методика может использоваться специалистом ЛПУ (кардиологом): на основе результата программы (которая выдает диагноз пациента по его ЭКГ) и своего опыта врач делает заключение, что существенно снижает уровень ошибки в постановке диагноза.

Ошибка в постановке диагноза грозит несвоевременным началом нужного лечения и, значит, усугублением состояния здоровья пациента. Самое главное, чем рискует пациент – это своим здоровьем, а уже потом идут траты на ненужные лекарства и моральный ущерб. Несоответствующее лечение может привести не только к хроническим заболеваниям, но и к инвалидности и даже летальному исходу. Все это приводит к социально-экономическому ущербу: растут затраты на госпитализации, вызовы скорой медицинской помощи, выплаты пособий и т.д.

Таким образом, за счет снижения уровня ошибки при постановке диагноза, произойдет снижение уровня инвалидности, то есть повысится уровень трудоспособности населения и качество жизни, а потери в экономике снизятся.

Оптимизация процесса диагностирования приведет к увеличению количества принятых пациентов, и, следовательно, к увеличению дохода медицинского учреждения.

5.3.1 Оценка научно-технического уровня НИР

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется интегральный показатель (индекс) ее научно-технического уровня по формуле:

$$I_{\text{НТУ}} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i,$$

где $I_{\text{НТУ}}$ – интегральный индекс научно-технического уровня;

R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта,

в баллах.

Таблица 32 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признаки научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИР	R_i
Уровень новизны	Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований	0,4
Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,1
Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,5

Интегральный показатель научно-технического уровня для нашего проекта составляет:

$$I_{\text{НТУ}} = 0,4 \cdot 5 + 0,1 \cdot 6 + 0,5 \cdot 10 = 2 + 0,6 + 5 = 7,6$$

Таким образом, данный проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ41	Присакарь Анастасии Владимировне

Институт	кибернетики	Кафедра	ПМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Прикладная математика и информатика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования являются оцифрованные ЭКГ пациентов с различными типами заболеваний. Цель исследования: показать возможность диагностирования заболевания по значению корреляционной размерности ЭКГ. Разработанная методика может использоваться в медицинских учреждениях:
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	В качестве вредных и опасных факторов выделены: отклонение показателей микроклимата, повышенный уровень шума на рабочем месте, повышенный уровень электромагнитных излучений, недостаточная освещенность рабочей зоны. Анализ выявленных опасных факторов, таких как повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.
2. Экологическая безопасность	Анализ воздействия на литосферу отходов в виде бумаги. Меры, применяемые для обеспечения экологической безопасности.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Основные проводимые правовые и организационные мероприятия по обеспечению безопасности в закрытых помещениях.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ41	Присакарь Анастасия Владимировна		

6 Социальная ответственность

Выполнение проекта заключалось в проведении исследований ЭКГ методами нелинейной динамики для диагностики кардиозаболеваний. Цель проекта – показать возможность постановки диагноза по значению корреляционной размерности ЭКГ. Данная методика может использоваться специалистами ЛПУ (кардиологами).

6.1 Производственная безопасность

Сначала необходимо выявить источники опасности, связанные с техническими системами и окружающей средой, обуславливающие возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Все опасные и вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 подразделяются на физические, химические, биологические и психофизиологические. Рассмотрим наиболее опасные факторы при работе за ПК (таблица 33).

Таблица 33 – Опасные и вредные производственные факторы при использовании методики

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за ПК	1. Отклонение показателей микроклимата. 2. Повышенный уровень шума на рабочем месте. 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений. 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны.	1. Электрический ток.	Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [25]. Параметры уровня шума устанавливаются СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [26]. Параметры уровня электромагнитных излучений устанавливаются ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ [27]. Параметры освещенности устанавливаются СП 52.13330.2011 [28].

Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений определяется сочетанием температуры, влажности, подвижности воздуха, температуры окружающих поверхностей и их тепловым излучением. Параметры микроклимата определяют теплообмен организма человека и оказывают существенное влияние на функциональное состояние различных систем организма, самочувствие, работоспособность и здоровье.

Метеорологические условия для рабочей зоны производственных помещений регламентируются ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и СанПиН 2.2.4.548—96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Принципиальное значение в нормах имеет отдельное нормирование каждого компонента микроклимата: температуры, влажности, скорости движения воздуха. В рабочей зоне должны обеспечиваться параметры микроклимата, соответствующие оптимальным и допустимым значениям. На основе интенсивности общих энергозатрат организма в ккал/ч (Вт) вид данной работы (работа врача-кардиолога) относится к категории Ia, который характеризуется интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч, сидячим состоянием и незначительным физическим напряжением [25]. В таблице 34 приведены оптимальные параметры микроклимата, в таблице 35 – допустимые. В нашем случае работа проводилась в теплое время года. Температура колебалась в пределах 21-25 градусов, относительная влажность в пределах 45-55. Следовательно, рабочая зона имела допустимые нормы.

Таблица 34 – Оптимальные значения характеристик микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	22-26	40-60	0,1

Таблица 35 – Допустимые значения характеристик микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	20,0–25,0	19,0–26,0	15–75	0,1
Теплый	21,0-28,0	20,0–29,0	15–75	0,1-0,2

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В зимнее время в помещении необходимо предусмотреть систему отопления. Также возможно использование ионизации воздуха, что позволит увеличить в воздухе количество аэроионов.

Повышенный уровень шума на рабочем месте

Интенсивное шумовое воздействие на организм человека неблагоприятно влияет на протекание нервных процессов, способствует развитию утомления, изменениям в сердечно-сосудистой системе и появлению шумовой патологии, среди многообразных проявлений которой ведущим клиническим признаком является медленно прогрессирующее снижение слуха по типу кохлеарного неврита.

Допустимые шумовые характеристики рабочих мест регламентируются ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности» и СанПиН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки».

При применении методики на ПК уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ. Допустимые уровни звукового давления в помещениях для медицинского персонала приведены в таблице 36 [26].

Таблица 36 – Допустимые уровни звука на рабочем месте

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентного звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены компьютеры, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами.

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряженностей электрического и магнитного полей, потока энергии, частоты колебаний, размера облучаемого тела.

Опасное воздействие на работников могут оказывать электромагнитные поля радиочастот (60 кГц-300 ГГц).

Допустимые значения норм напряженности электромагнитного поля указаны в таблице 37 [27].

Таблица 37 – Допустимые уровни электромагнитных полей

Наименование параметров	Допустимые значения
Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более: в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц в диапазоне частот 2 – 400 кГц	25 В/м 2.5 В/м
Плотность магнитного потока должна быть не более: в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц в диапазоне частот 2 – 400 кГц	250 нТл 25 нТл
Напряженность электростатического поля:	15 кВ/м

Для понижения уровня напряженности электромагнитного поля следует использовать мониторы с пониженным уровнем излучения (MPR-II, TCO-92, TCO-99), устанавливать защитные экраны, устранять неисправности. А для

профилактики компьютерного зрительного синдрома, улучшения визуальных показателей видеомониторов, повышения работоспособности, снижения зрительного утомления возможно применение защитных очков со спектральными фильтрами.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокую работоспособность, оказывает положительное психологическое воздействие на работающих, способствует повышению производительности труда. О важности вопроса производственного освещения говорит тот факт, что основной объем информации (около 90%) человек получает с помощью зрения.

К системам освещения предъявляют следующие требования:

- соответствие уровня освещенности рабочих мест характеру выполняемой зрительной работы;
- достаточно равномерное распределение яркости на рабочих поверхностях и в окружающем пространстве;
- отсутствие резких теней, прямой и отраженной блескости;
- постоянство освещенности во времени;
- оптимальная направленность излучаемого осветительными приборами светового потока;
- долговечность, экономичность, электробезопасность и пожаробезопасность, эстетичность, удобство и простота эксплуатации.

Для обеспечения освещенности рабочего места применяют естественное уличное освещение и только при его нехватке подключаются внутренние системы освещения.

Искусственное освещение в помещениях при использовании методики должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях при работе с ПК следует применять системы комбинированного освещения (к общему

освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов) [28].

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 — 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 — 5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп. В светильниках местного освещения допускается применение ламп накаливания, в том числе галогенные.

В помещениях медицинских учреждений обычно применяют одностороннее боковое естественное освещение. С целью уменьшения солнечной инсоляции светопроемы устраивают с северной, северо-восточной или северо-западной ориентацией. Мониторы располагают подальше от окон и таким образом, чтобы окна находились сбоку.

Если экран дисплея расположен к окну, необходимы специальные экраннирующие устройства (светорассеивающие шторы, регулируемые жалюзи, солнцезащитная пленка с металлизированным покрытием).

Разряд зрительных работ врача относится к разряду «г» (высокой точности), параметры искусственного освещения указаны в таблице 38 [28].

Таблица 38 – Нормативные значения освещённости

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		
						Освещённость, лк		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
все го	В том числе от общего							
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	г	Средний, большой <<	Светлый << средний	400	200	200

Если нормы освещенности рабочей зоны не совпадают с нормативными, то следует добавить дополнительные источники света в рабочую зону.

Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного соприкосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Специфическая опасность электроустановок: токоведущие проводники, корпуса стоек ЭВМ и прочего оборудования, оказавшегося под напряжением в результате повреждения (пробоя) изоляции, не подают каких-либо сигналов, которые предупреждали бы человека об опасности. Это напряжение опасно для жизни, поэтому обязательны следующие меры предосторожности:

– перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;

– при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо, не делая никаких самостоятельных исправлений, сообщить человеку, ответственному за оборудование;

– запрещается загромождать рабочее место лишними предметами;

– при возникновении несчастного случая следует соблюдать инструкции техники безопасности и, соответственно проводить обучение сотрудников по технике безопасности.

6.2 Экологическая безопасность

При применении методики используется ПК, который потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии (мощностью 220 Вт).

Под охраной окружающей среды характеризуется различного рода мероприятиями, влияющие на следующие природные зоны:

- атмосфера;

- гидросфера;

- литосфера.

Важнейшим этапом обращения с отходами является их сбор, а в дальнейшем переработка, утилизация и захоронение. Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве, относятся к вторичным материальным ресурсам. В данной работе использованная и ненужная бумага сдается в макулатуру.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Вероятные чрезвычайные ситуации классифицируются:

– преднамеренные/непреднамеренные;

– техногенные: взрывы, пожары, обрушение помещений, аварии на системах жизнеобеспечения;

– природные – связанные с проявлением стихийных сил природы.

– экологические – это аномальные изменения состояния природной среды, такие как загрязнения биосферы, разрушение озонового слоя, кислотные дожди;

- антропогенные – являются следствием ошибочных действий людей.
- биологические – различные эпидемии, эпизоотии, эпифитотии;
- комбинированные.

При применении методики основным источником чрезвычайных опасностей является возникновение пожара.

Обеспечение пожарной безопасности в помещениях медицинских учреждений достигается, прежде всего, установлением жесткого противопожарного режима и обучением обслуживающего персонала и учащихся мерам пожарной безопасности и действиям во время пожара.

Территория медицинского учреждения, а также участки, прилегающие к нему, должны своевременно очищаться от горючих отходов, мусора, которые следует собирать на специально выделенных площадках в контейнеры или ящики, а затем вывозить на свалку.

Важно контролировать состояние дорог, проездов, подъездов и проходов к зданиям, следить за тем, чтобы они ничем не загромождались, а в зимнее время регулярно очищались от снега и льда.

В зданиях, относящихся к объектам с массовым пребыванием людей, особое внимание должно уделяться содержанию путей эвакуации. Каждое здание должно иметь не менее двух эвакуационных выходов: если один из них отрезан огнем, для спасения используется другой. Запасные выходы должны быть свободны и иметь надпись «Запасный выход». Все двери эвакуационных выходов свободно открываются в сторону выхода из помещений.

На случай отключения электроэнергии у обслуживающего персонала должны быть электрические фонари – не менее одного на каждого работника дежурного персонала.

На каждом этаже здания, на видном месте должен быть вывешен план эвакуации с этажа (здания). На плане эвакуации кроме путей выхода (стрелками) указываются места размещения средств пожаротушения, телефонов.

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

а) Организационные мероприятия:

- 1) противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
- 2) обучение персонала правилам техники безопасности;

б) Эксплуатационные мероприятия:

- 1) соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- 2) обеспечение свободного подхода к оборудованию.
- 3) содержание в исправности изоляции токоведущих проводников.

в) Технические мероприятия:

1) соблюдение противопожарных мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В здании должны присутствовать порошковые огнетушители, установлен рубильник, обесточивающий все помещение. Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться углекислотные огнетушители или порошковые;

2) профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

В случае возникновения пожара сотрудники должны предпринять следующие меры [29]:

- сообщить о пожаре в пожарную охрану, задействовать систему оповещения;
- задействовать план эвакуации (открыть запасные двери и включить светоуказатели эвакуационных путей);
- вывести людей в безопасное место в соответствии с планом эвакуации;
- проверить поименно, все ли эвакуированы;
- приступить к тушению пожара первичными средствами;
- встретить пожарные подразделения и сообщить, где могли остаться люди, как туда можно подойти;
- принять меры к эвакуации имущества.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1 Психофизиологические факторы

К психофизиологическим вредным факторам относятся статические физические перегрузки, умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки.

Продолжительность непрерывной работы с компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать 2-х часов. А во время регламентированных 15-минутных перерывов с целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, предотвращения развития познотонического утомления (при статических нагрузках) необходимо выполнять комплексы упражнений [30].

6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Для того чтобы люди плодотворно трудились нужно создать подходящие условия труда. Для организации рабочих мест следует руководствоваться ГОСТ 12.2.032-78, ГОСТ 12.2.033-78, ГОСТ 12.2.049-80, ГОСТ 12.2.061-81, ГОСТ 12.4.026-2001 межотраслевыми и отраслевыми рекомендациями по их обустройству.

Площадь на одно рабочее место с компьютером (жидкокристаллические, плазменные дисплеи) для взрослых пользователей должна составлять не менее 4,5 м² [31].

Поверхность пола в медицинских помещениях должна быть ровной, без выбоин, нескользкой, удобной для очистки и влажной уборки, обладать антистатическими свойствами.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления [31].

Заключение

Магистерская диссертационная работа направлена на изучение возможности применения методов нелинейной динамики для диагностики кардиозаболеваний.

В ходе выполнения работы были выполнены следующие задачи:

1) на основе изученной литературы выбраны методы нелинейной динамики;

2) получены экспериментальные данные в виде ЭКГ пациентов с различными кардиозаболеваниями;

3) разработана программа с графическим интерфейсом в пакете Matlab, позволяющая:

– проводить исследования временных рядов методами нелинейной динамики (вычислять автокорреляционную функцию, амплитудный спектр и корреляционную размерность);

– работать с векторными и скалярными рядами строить графики исходного (восстановленного) ряда, фазового портрета (в случае двух (-трех) мерного пространства);

4) предложена методика объединения отведений ЭКГ в обобщенные вектора и исследования размерностей в пространстве обобщенных координат;

5) изучены корреляционные размерности и медианные корреляционные размерности пациентов с различными кардиозаболеваниями;

6) изучены траектории в пространстве состояний внутри одного заболевания и между различными заболеваниями;

7) рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности и экономической эффективности.

При проведении дальнейших исследований возникает необходимость создания:

- программы, позволяющей читать файлы с медицинскими данными различных форматов;

- базы данных со всеми имеющимися заболеваниями (в среднем по 125-150 человек по каждому заболеванию).

В итоге на основании проделанной работы можно сделать вывод, что исследование ЭКГ это сложный и трудоемкий процесс, который требует затрат времени и определенного уровня знаний. Результаты, полученные в данной работе, говорят о том, что корреляционная размерность и траектория в пространстве состояний несет в себе определенную информацию о заболевании, так например для здоровых пациентов значение корреляционной размерности меньше размерности пациентов с инфарктом миокарда, а траектория здоровых пациентов имеет более простую структуру.

Список публикаций студента

1 Присакарь А.В. Получение решающих правил для определения типа бронхиальной астмы методами нелинейной динамики // Материалы VII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум». URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/1126/11281> (дата обращения: 09.05.2016).

Список использованных источников

- 1 Кардиология [Электронный ресурс]. URL: <http://aqua-log.ru/кардиология/> (Дата обращения: 25.05.2016).
- 2 Проведение электрокардиограммы — быстрый способ выявления заболеваний сердца [Электронный ресурс]. URL: <http://dlyaserdca.ru/diagnostika/kardiogramma-serdca.html> (Дата обращения: 25.05.2016).
- 3 Электрокардиографическая диагностика [Электронный ресурс]. URL: <http://lekmed.ru/info/arhivy/elektrokardiograficheskaya-diagnostika-13.html> (Дата обращения: 25.05.2016).
- 4 Электрокардиографические (ЭКГ) отведения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://meduniver.com/Medical/Therapy/119.html>, свободный.
- 5 Общая схема расшифровки ЭКГ [Электронный ресурс]. URL: <http://medbe.ru/materials/diagnostika-i-simptomu-ssz/obshchaya-skhemarasshifrovki-ekg/> (Дата обращения: 25.05.2016).
- 6 Методы изучения электрокардиограммы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kairost.ru/610/890.html> (Дата обращения: 25.05.2016).
- 7 Вариабельность сердечного ритма [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kardi.ru/ru/index/Article?Id=37&ViewType=view> (Дата обращения: 25.05.2016).
- 8 Анализ variability сердечного ритма [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kardi.ru/ru/index/Article?Id=37&ViewType=view> (Дата обращения: 25.05.2016).
- 9 Методические рекомендации по анализу variability сердечного ритма у спортсменов в видах спорта на выносливость с применением математических методов [Электронный ресурс]. URL: <http://csp-athletics.ru/images/doc/metod/control/metod-control-10.pdf> (Дата обращения: 25.05.2016).
- 10 Петров Л.Ф. Методы нелинейной динамики как инструменты управления экономической эффективностью. // Эффективное антикризисное

управление, 2011, № 2. URL: <http://www.e-c-m.ru/index.php/jour/article/view/245/244>.

11 Юшкина О.А. Анализ и прогноз временной изменчивости речного стока методами нелинейной динамики. Автореф. дисс. – Иркутск, 2009. URL: <http://www.dissercat.com/content/analiz-i-prognoz-vremennoi-izmenchivosti-rechnogo-stoka-metodami-nelineinoi-dinamiki#ixzz3dO9VM1Fd>.

12 Николаева Д.А. Применение метода оценки корреляционной размерности для анализа ЭЭГ человека с заболеванием эпилепсия. // Дифференциальные уравнения и процессы управления № 2, 2009 Электронный журнал, рег. № П2375 от 07.03.97 ISSN 1817-2172. URL: <http://www.math.spbu.ru/diffjournal/pdf/darina.pdf>.

13 Филатов Д.А. Моделирование и анализ финансовых рынков методами нелинейной динамики. Автореф. дисс. – Воронеж, 2007. URL: <http://www.dissercat.com/content/modelirovanie-i-analiz-finansovykh-rynkov-metodami-nelineinoi-dinamiki#ixzz3WRf9Rh2q>

14 Зулкарнеев Р.Х. Кардиореспираторная вариабельность при заболеваниях органов дыхания. Автореф. дисс. – Москва, 2007. URL: <http://www.dissercat.com/content/kardiorespiratornaya-variabelnost-pri-zabolevaniyakh-organov-dykhaniya>

15 Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории – М.: Постмаркет, 200 – 352 с.

16 Модели и информационные технологии в задачах лечебно-восстановительной медицины: монография / С.Ю. Андреев, О.Г. Берестнева, О.М. Гергет и др.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 291 с.

17 Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 312 с., ил.

18 Автокорреляционная функция [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Автокорреляционная_функция (Дата обращения: 25.05.2016).

19 Спектры периодических сигналов [Электронный ресурс]. URL: http://ets.ifmo.ru/osipov/os1/2_1.htm (Дата обращения: 25.05.2016).

20 Пономарева И.С. Электронное учебное пособие по теме "Конформная геометрия". – Астрахань, 2002. URL: http://www.exponenta.ru/soft/matlab/stud2/2_1.asp.

21 The PTB Diagnostic ECG Database [Электронный ресурс]. URL: <http://www.physionet.org/physiobank/database/ptbdb/> (Дата обращения: 25.05.2016).

22 St.-Petersburg Institute of Cardiological Technics 12-lead Arrhythmia Database [Электронный ресурс]. URL: <https://physionet.org/physiobank/database/incartdb/>

23 Научный форум dxdy [Электронный ресурс]. URL: <http://dxdy.ru/topic34170.html> (Дата обращения: 25.05.2016).

24 Challenge 2011 Training Set A [Электронный ресурс]. URL: <http://www.physionet.org/physiobank/database/challenge/2011/set-a/> (Дата обращения: 25.05.2016).

25 СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

26 СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

27 ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

28 СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.

29 Действие работников организаций при пожаре [Электронный ресурс]. URL: <http://www.yarconsult.ru/index.php/otipb/go/go-cons/gob> , свободный – Загл. С экрана. (Дата обращения: 21.04.2016)

30 ТОО Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере

31 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

Приложение А
(обязательное)

Раздел 1

Literature review

Раздел 3

Program development for time series study by nonlinear dynamics methods

Студент

8БМ41	Присакарь Анастасия Владимировна		
Группа	ФИО	Подпись	Дата

Консультант кафедры Прикладной математики (ПМ):

доцент	Козловских Александр Владимирович	К.Т.Н.		
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Консультант – лингвист кафедры Английского языка (ИЯИК):

доцент	Сидоренко Татьяна Валерьевна	К.Т.Н.		
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

1 Literature review

Cardiovascular diseases as oncological diseases strongly keep primacy among the most widespread and dangerous diseases of the XXI century. Considering the quantitative growth of cardiovascular diseases, the treatment of a heart disease has become one of the most demanded kinds of health care.

A cardiologist is the only one who can diagnose heart diseases after detailed survey [1].

The survey includes:

6) conversation with a doctor (medical history, conducting a differential diagnosis, making a survey program);

7) full blood count including biochemistry, coagulability and the analysis of the blood fats;

8) spirometry measurement;

9) ECG monitoring;

10) final conversation with a doctor about the survey results, and if it's necessary – treatment plan appointment [1].

One of the basic diagnostic methods of cardiovascular diseases is the ECG monitoring. Today it's not able to demonstrate more precise graphical representation of the heart work in dynamics by any device, that's why electrocardiography will remain out of competition for a long time because of the great importance of its significance in clinical practice [2].

By using of EKG we can estimate:

- source of the heart rhythm;
- the heart rate;
- identify various the heart rhythm disorders;
- disorders of conducting impulses through the heart structures;
- diagnose the myocardial ischemia, myocardial infarction;
- myocardium power failure at various diseases;
- define the excess or deficit of potassium, magnesium and calcium in the organism at various diseases and medication;

- define an overdose of some medications in the heart failure treatment;
- evaluate the heart disease treatment by the ECG in dynamic;
- identify the hypertrophy signs of the heart parts.

Electrocardiography is usually performed on 3-12 leads, in this case the accuracy of the indicators depends on the leads number. ECG lead is a method of detecting of potential difference between the two parts of the body. The installing of electrodes on two body parts, which have different potentials, and connecting them to the electrocardiograph, gives an opportunity to write the curve – ECG, as a result of fluctuations of the potential difference [3].

A large leads number caused by the fact that any specific lead registers the passage features of the sinus impulse in different heart parts (Table 1) [4].

Table 4 – Heart parts versus leads

Leads	Heart parts
I	frontal heart wall
II	aggregate display of I and III
III	posterior heart wall
aVR	right lateral heart wall
aVL	left anterior-lateral heart wall
aVF	post-lower heart wall
V ₁ и V ₂	right ventricle
V ₃	interventricular septum
V ₄	the tip of the heart
V ₅	anterior-lateral wall of the left ventricle
V ₆	lateral wall of the left ventricle

There are additional leads V_x, V_y, V_z which are used for more exact diagnostics of focal myocardium changes.

The diagnostics of the process, taking place in a particular area of the heart, is carried out with the greater reliability, due to the wide variety of ECG leads [4].

The general scheme of ECG interpretation (figure 1) [5]:

- 6) Analysis of the heart rhythm and conduction:
 - assessment of the regularity of heart rate;
 - calculation of the heart rate;
 - definition of the excitation source;

– assessment of the cardiac conduction system.

7) Determination of the heart turns around the anteroposterior, transverse and longitudinal axes:

– determining the position of the heart's electrical axis in the frontal plane;

– definition of heart turns around the longitudinal and transverse axis.

8) Analysis of atrial P wave.

9) Analysis of the ventricular complex QRS-T:

– analysis of the QRS complex;

– analysis of the RS-T segment;

– analysis of the T wave;

– analysis of the Q-T interval.

10) Electrocardiographic conclusion.

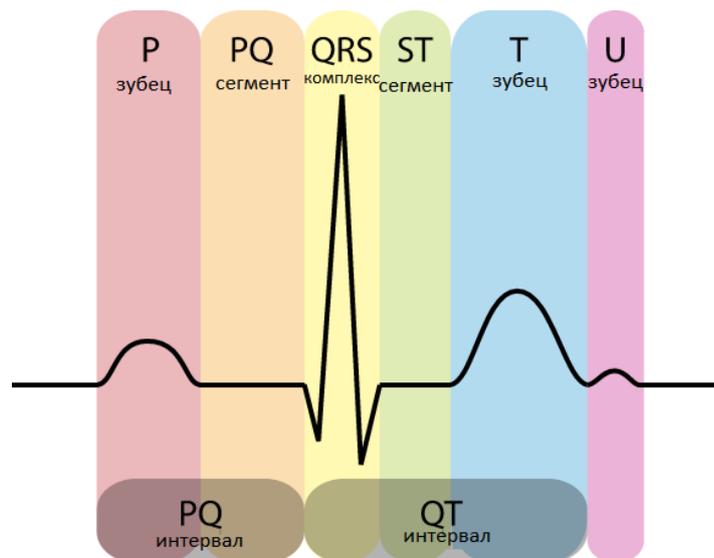


Figure 1 – ECG components

As a result of literature review of ECG methods the following were highlighted in [6]:

1) The analysis of the heart rate variability

The analysis of the heart rate variability is gaining the huge popularity in cardiological studies. This method is based on determining of the sequence of R-R

intervals of the ECG, which are also called NN-intervals (normal-to-normal), ie only the intervals between normal contractions are recorded.



Figure 2 – The sequence of R-R intervals of the ECG

The analysis of the heart rate variability:

- allows to evaluate the impact of some factors and the autonomic nervous system to the cardiac performance;
- allows to detect the pathological diseases, to monitor the dynamics and, in general, to assess the functional state of the person;
- allows to predict the failures in work of the cardiovascular system by obtaining information about the adaptation reserves of the organism.

Violation of the autonomic nervous and cardiovascular system can be determined by reducing the variability of parameters, which further leads to serious pathologies associated with the heart. Higher parasympathetic tonus, typical for athletes and healthy young people, leads to the highest indices of the heart rate variability. Various natural heart diseases result in a high sympathetic tonus, which is associated with a reduction in variability. The sharp decline leads to the highly probable death.

Currently, there are several methods for assessing of the heart rate variability. Let's describe the three general groups:

- time-domain methods - based on statistical methods and are intended to study the overall variability;
- frequency domain methods – a research of the periodic components of HRV;
- integrated parameters of HRV (including autocorrelation analysis and correlation rhythmography) [7].

2) The spectral analysis of the heart rate

The use of spectral analysis allows quantifying the impact of different regulatory systems on the cardiac performance.

We can allocate the three main spectral components by estimating of the frequency of the heart rate fluctuations: very low frequency (VLF), low frequency (LF) and high frequency (HF). VLF components used in the short-term ECG recording, additional ultra-low frequency (UltraLowFrequency (ULF)) components are used for long-term records.

HF component reflects the influence of the vagus nerve on a cardiac performance, and determined by the respiratory movements.

LF component characterizes the influence of the sympathetic and parasympathetic divisions of the heart rhythm.

VLF and ULF components reflect the effect of various factors of the organism. These factors include, for example, vascular tone, thermoregulation system and other.

The following options are also allocated: TF – total spectrum power, the centralization index IC, equal to $(HF + LF) / VLF$ and the index of vagosympathetic interaction LF / HF . TF allows evaluating the total activity of the autonomic nervous system effects on the heart rhythm.

LF / HF allows defining a set of influence of the parasympathetic and sympathetic sections on the heart. [8]

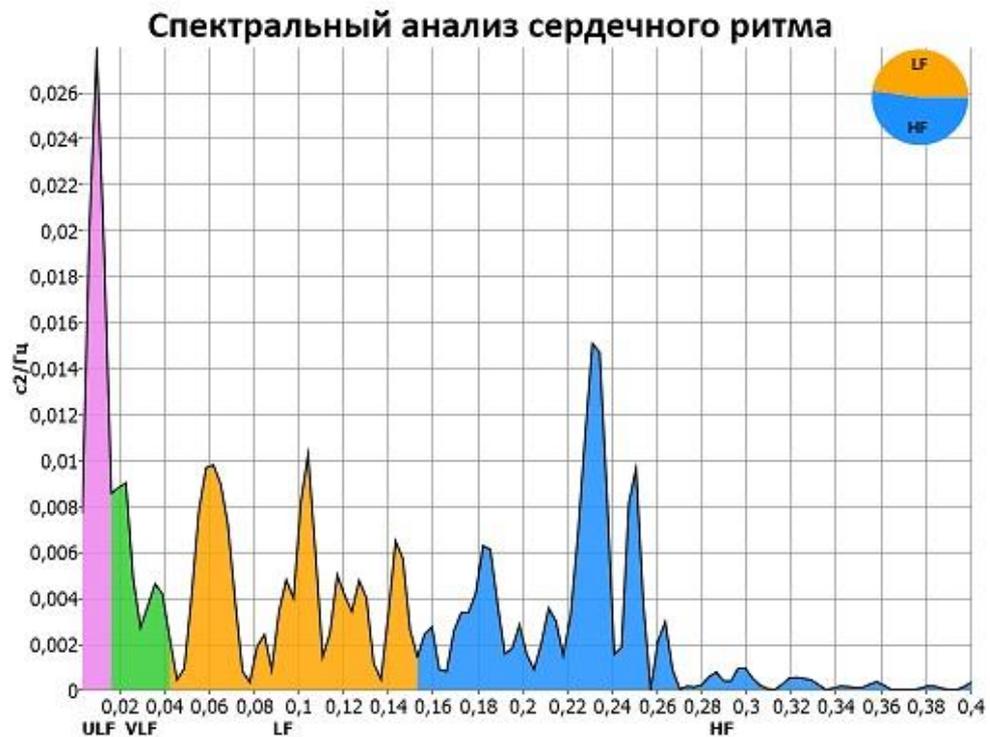


Figure 3 – The spectral analysis of the heart rate

3) The wavelet transform of the heart rate

Most medical signals, including R-R- intervalogram complex, have a complex time-frequency characteristics. Basically, these signals are constructed from the close in frequency low-frequency components and also from the close in time high-frequency and long-term components (short-lived).

Generally we can use two possible variants for the analysis of such signals:

1. Local (windowed) Fourier transformation

In this case, we divide the transient signal segments first, the statistics of which does not change with time, i.e. we just work like with a stationary signal.

2. Wavelet transform

In the case of the wavelet transform the analysis produced by the decomposition of non-stationary signal on the basis functions, which was received from some prototype by compression, tension and shear.

There are discrete and continuous wavelet analyses. They are used both for discrete and continuous signals. In the wavelet analysis the functions of a special sort play and a role of the simple vibrations are called wavelets. Decomposition of basic

functions derived from a prototype allows analyzing the original signal. Analyzing (mother) wavelet is a function prototype, which is a "short" soliton-like oscillation.

You can see a wavelet projection on the spectrogram in the time-frequency plane in Figure 4. A changing of the color palette shows the intensity of the third coordinate values.

Wavelet analysis is also a variation of the spectral analysis.

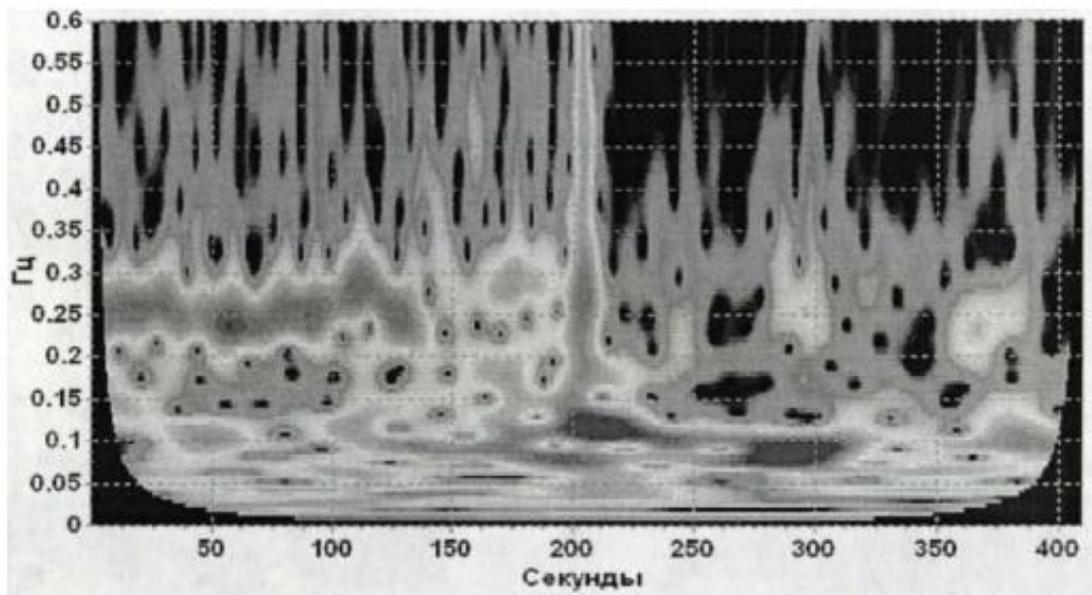


Figure 4 – Example of wavelet spectrogram

Wavelet window can trace as a low-frequency as and high-frequency components of the signal by the scale change. In this case the strip is compressed in the time axis and the frequency axis has a relatively large width (in the case of the high-frequency component).

The wavelet spectrogram gives a better distribution of the energy concentration at various frequency levels, simultaneously showing the evolution of these rhythms in time [9].

4) Nonlinear dynamics methods

Nonlinear dynamics methods are presented in detail in Section 3.

3 Program development for time series study by nonlinear dynamics methods

3.1 The phase space dimension recovery

Let the investigated process be presented in the form of a sequence of variable values $x(t)$.

To restore the attractor the time delay method is used. It's based on Takens' theorem. According to his theorem a sufficiently long observation of the only one system parameter is enough for reconstruction of a dynamic structure of a studying system. Thus, in the attractor, restored in the n -dimensional space, each point $x(t)$ will be displayed on the point of this space with coordinates $\{x(t), x(t + \tau) \dots x(t + (m - 1)\tau)\}$, where m – embedding dimension and τ – time delay.

The embedding dimension (m) is the smallest integer dimension of the space containing the whole attractor. It corresponds to the independent variables number that uniquely identifies the steady motion of a dynamical system [16].

An example of the phase space recovery is shown in figure 1.

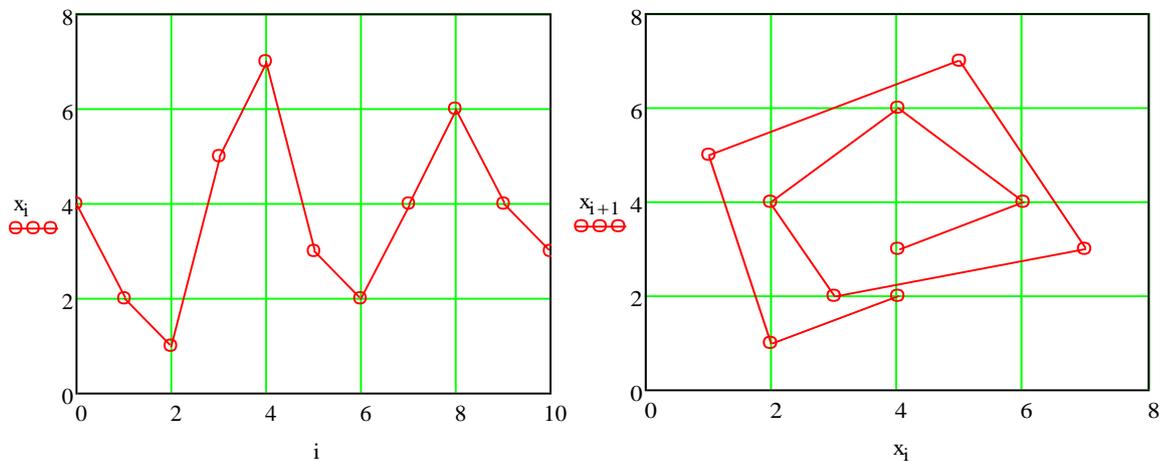


Figure 1 – Example of the two-dimensional phase space recovery ($\tau=1, m=2$)

The block diagram of phase space recovery algorithm is presented in the appendix B.

3.2 Correlation dimension

Continuous trajectory is discretized – replaced by a set of N points $\{x_i\}$ in the phase space. Then the distance between points pairs $s_{ij} = |x_i - x_j|$ is calculates, using

ordinary Euclidean distance measure (the square root of the sum of the squares of the differences between corresponding values), or any equivalent measure. The algorithm block diagram of distance between points in n -dimensional space calculation is presented in the appendix V.

The correlation function is defined as

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \left(\begin{array}{l} \text{pairs number } (i,j), \\ \text{for which distance } s_{ij} < r \end{array} \right) \quad (1)$$

The block diagram of algorithm of correlation integral calculation depending on the correlation radius is presented in the appendix G.

Fractal, or the correlation dimension can be defined as:

$$d_G = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log C(r)}{\log r}. \quad (2)$$

We can calculate $C(r)$ more effective after describing the sphere (or cube) around each point $\{x_i\}$ (figure 6) in the phase space and counting the points number in each sphere, i.e.

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N H(r - |x_i - x_j|), \quad (3)$$

where $H(s)=1$ at $s>0$ and $H(s)=0$ at $s<0$. This value differs from the pointwise dimension by the fact that the summation is performed around each point [17].

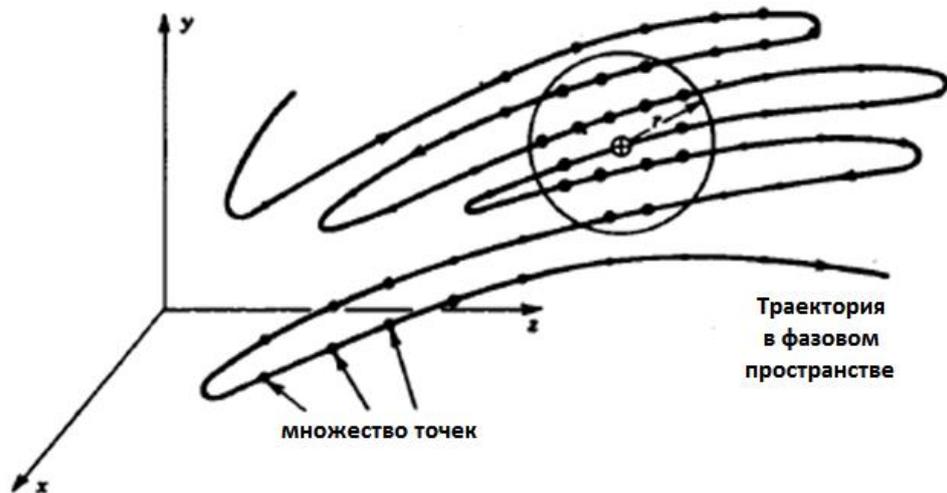


Figure 6 – Motion trajectory in the phase space

The correlation integral calculation is time consuming, the operations number is proportional to the multiplication of the square of the points number on the embedding space dimension. After calculating the correlation integral for different correlation radiuses, the correlation integral dependence from the correlation radius in a logarithmic scale is plotted. A linear section of the constructed dependence contains the information about the «strange» attractor correlation dimension.

To select the linear section is necessary to calculate the correlation integral derivative, to find the interval on which the derivative is near or equal to a constant at the graph. Precisely for this section the correlation dimension is calculated (as tangent of the tilt angle).

We use a cube spline (with the help of function *csapi*) to smooth the graph of correlation integral dependence from correlation radius, the derivative is calculated with the help of *fnval* function. The original and interpolated graphics are presented in the figure 7.

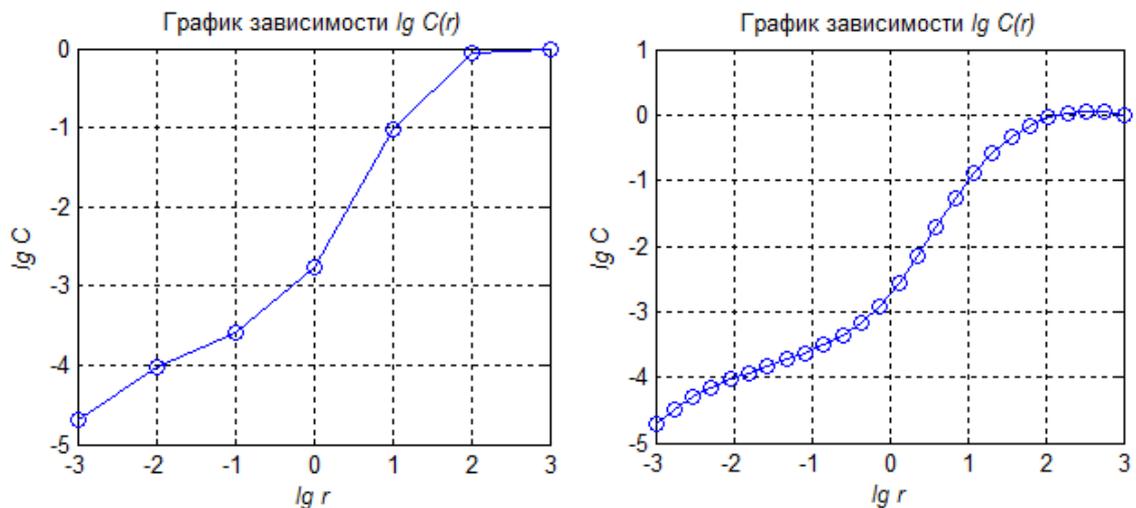


Figure 7 – The graphs of the correlation integral dependence from the correlation radius, before and after interpolation

3.3 Autocorrelation function

ACF is determined by the integral

$$K(\tau) = \int_0^{\infty} x(t)x(t + \tau)dt \quad (4)$$

and it shows the connection of the signal with the copy of itself, shifted by the value τ , that called lag (the shift value between observation series). The greater the autocorrelation function, the more similarity.

When the signal is chaotic, information about its history is lost, that is $K(\tau) \rightarrow 0$ at $\tau \rightarrow \infty$, so the signal detects correlation only with its recent past.

In the random functions theory ACF is a correlation point of two values of a random function $x(t)$:

$$K(\tau) = \frac{M\{[x(t_1) - \bar{x}(t_1)][x(t_2) - \bar{x}(t_2)]\}}{D}, \quad (5)$$

where $\bar{x}(t) = M[x(t)]$, and $M[x(t)]$ – expected value [18].

To calculate ACF the standard Matlab function *xcorr* with parameter *coeff* was used, it normalizes the values in such way that correlations identically equal to 1 at zero lag.

Generally autocorrelation function calculation is written as

$$[r, lags] = \text{xcorr}(x, [minlag \ maxlag], norm), \quad (6)$$

where r – array of ACF values, $lags$ – array of shifts values on the time axis for this ACF, x – original series, $[minlag \ maxlag]$ – limits of shift changes, $norm$ – valuation method.

3.4 Amplitude spectrum

The amplitude spectrum is an amplitudes set of all harmonics which are usually presented as a diagram in the form of vertical lines set, the lengths of this lines are proportional to the amplitude values of harmonic components, and the place on the horizontal axis is determined by the component frequency (harmonic number) [19].

To calculate the amplitude spectrum, the standard Matlab functions were used (listing 1).

Listing 1. The amplitude spectrum calculation

```
NFFT = 2^nextpow2(L);
Y = fft(y, NFFT)/L;
f = Fs/2*linspace(0, 1, NFFT/2+1);
plot(f, 2*abs(Y(1:NFFT/2+1)))
```

Where y – the original discrete series, L – samples number, fft – a function that performs a fast Fourier transform, F_s – the maximum value of the frequency range.

3.5 Program implementation

Matlab programming language was chosen for the program implementation, because it has some number of advantages [20]:

- there are a large number of standard functions, ensuring the work, including the work with a graphical objects;
- Matlab is intuitive programming language;
- Matlab allows to create a graphical user interface;
- it has a huge opportunity and a high speed of tasks execution.

As a result, program with a graphical interface in Matlab package was implemented. The structural interface scheme is shown in figure 8.

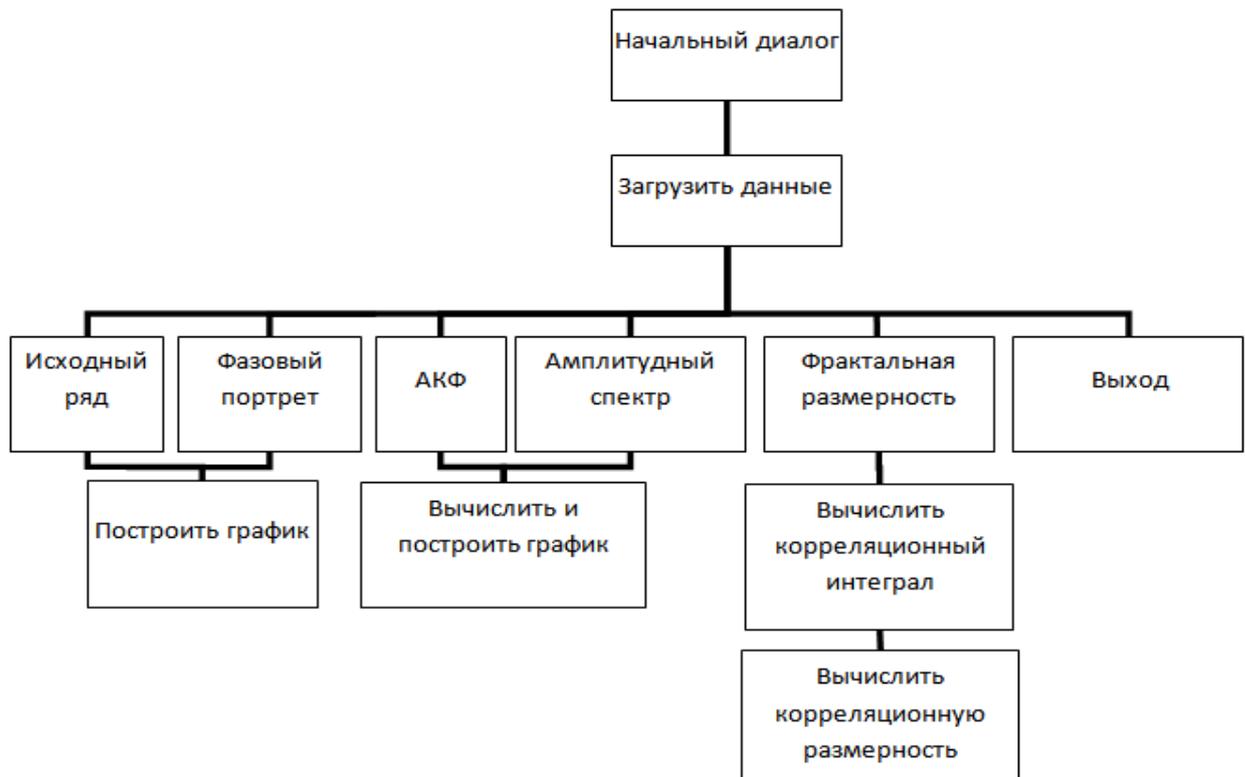


Figure 8 – The structural interface scheme

The program interface consists of two main parts:

- menu with icons for file download and graph work;

- the workspace in the form of five tabs.

Menu

The functions of each menu button displayed when you hover over the button.

The menu contains next buttons:

- «Load data»;
- «Zoom in», «Zoom out» (for graph scale changing)
- «Pan»;
- «Copy figure»;
- «Data cursor»;
- «Rotate figure».

After pressing the «Upload data»  button a file selection dialog opens (Figure 9).

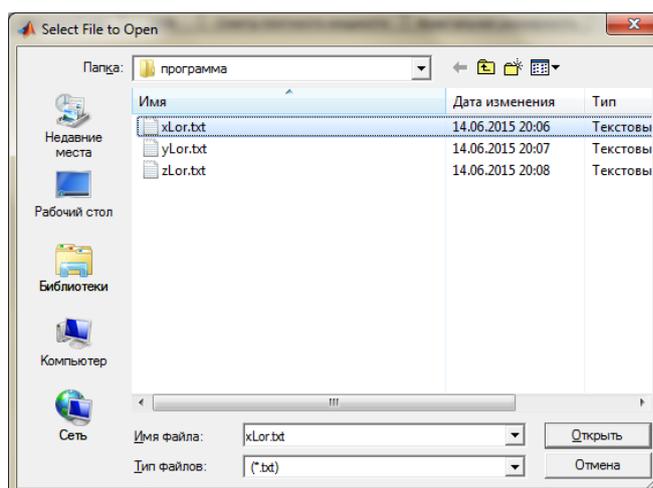


Figure 9 – File selection dialog

After the file selecting and pressing the «Open» button the setting input box opens (Figure 10), which specifies the number of rows and columns that the user wants to download.

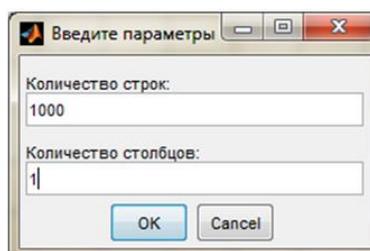


Figure 10 – Setting input box of downloaded data

If the «Columns number» field value is equal to «1», then by pressing the «OK» button, the settings window for the phase coordinates recovery will be shown (Figure 7).

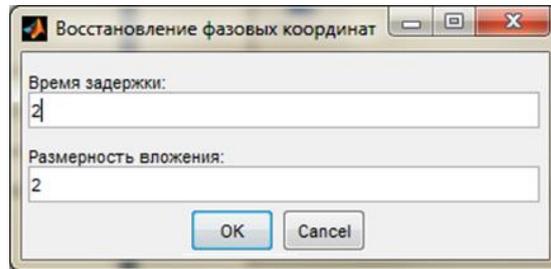


Figure 11 – Settings window for the phase coordinates recovery

If the phase coordinates were recovered, the recovery options can be changed at the bottom of the screen in the «Time delay» and «Supposed embedding dimension» fields, then click «Apply», thus, the series will changes.

Workspace

Tab «**Original series**» contains (Figure 12):

- button «Plot graph»;
- «Axes» graphical object for the original graph plotting.

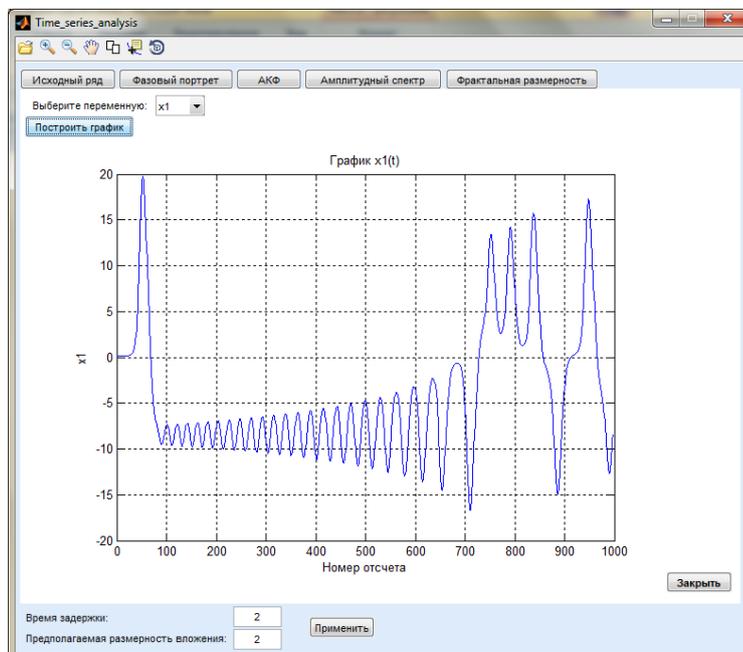


Figure 12 – Tab interface «Original series»

Tab «Phase portrait» is available only in the case of two-dimensional and three-dimensional series (Figure 13). Tab contains:

- button «Plot graph»;
- «Axes» graphical object for the phase portrait plotting.

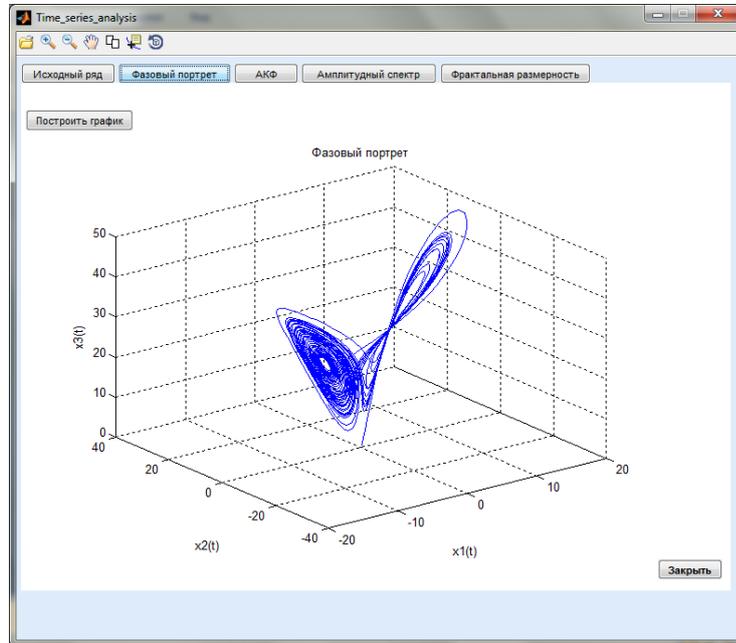


Figure 13 – Tab interface «Phase portrait»

Tab «ACF» contains (Figure 14):

- button «Calculate» that intended to calculate and construct the ACF;
- «Axes» graphical object for the ACF plotting.

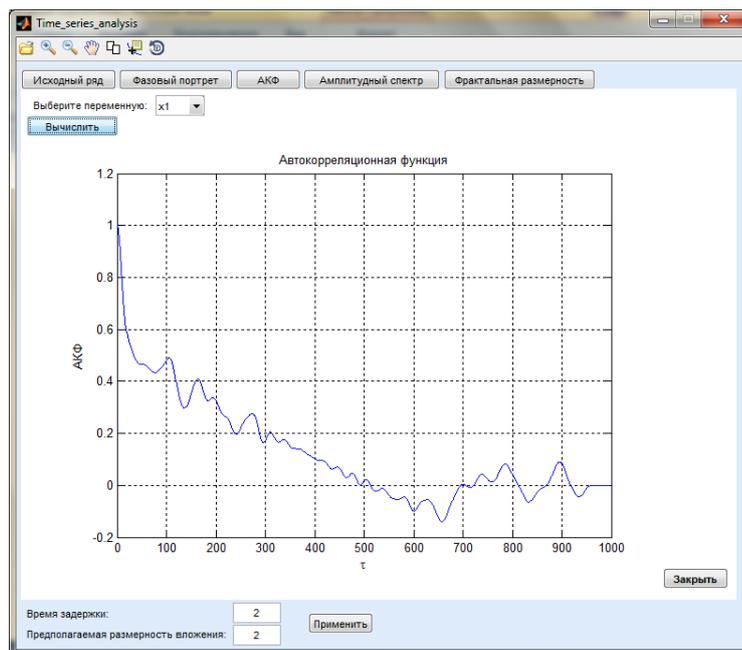


Figure 14 – Tab interface «ACF»

Tab «**Amplitude spectrum**» contains (Figure 15):

- button «Calculate» that intended to calculate and construct the amplitude spectrum;
- field for setting of the maximum value of the frequency range;
- «Axes» graphical object for the amplitude spectrum plotting.

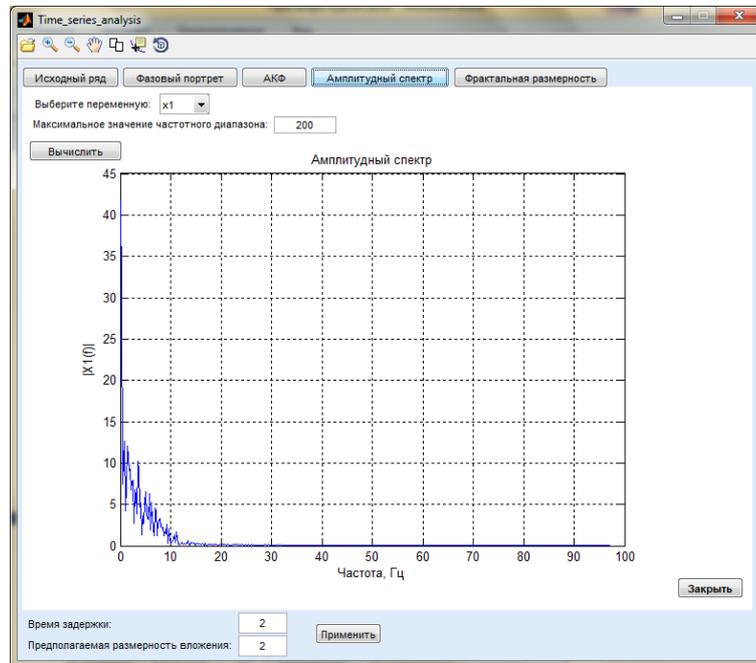


Figure 15 – Tab interface «Amplitude spectrum»

At consideration tabs (Figure 12, 14-15) original data, ACF and the amplitude spectrum for each phase coordinates can be plotted, we just need to select the phase coordinate from the list, located at the field «Select a variable».

Tab «**Fractal dimension**» contains (Figure 16):

- «Calculate correlation integral», «Select an interval» buttons
- 2 «Axes» graphical objects for plotting of correlation integral dependence from correlation radius and correlation integral derivative;
- «Total points» field allows entering data and fielding «Correlation dimension» to display the result.

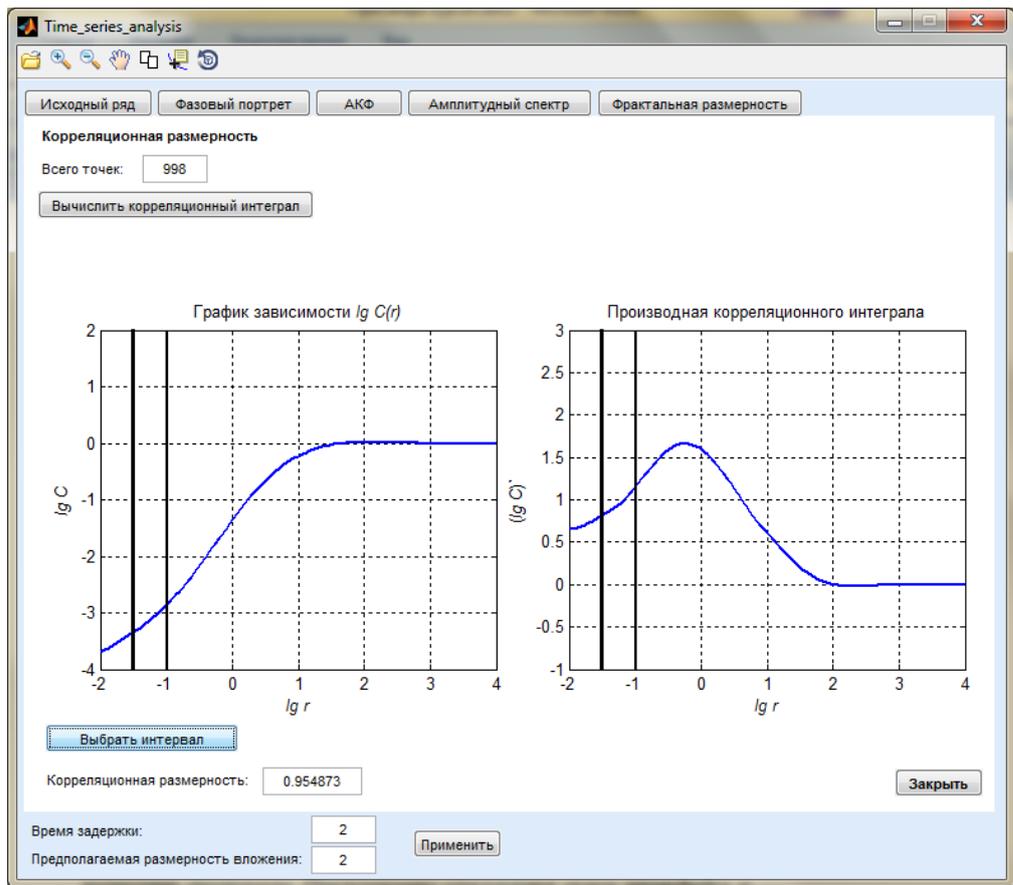


Figure 16 – Tab interface «Fractal dimension»

In this way to calculate the correlation dimension we should:

- 1) calculate the correlation integral, pressing the «Calculate correlation integral» button. As a result two graphs are obtained.
- 2) Click «Select an interval» and select the left and right border of the interval using keyboard arrow keys (left, right), to fix (select) the borders press the «Enter» key. If both boundaries after pressing the «Enter» are selected, the result is displayed in the field «Correlation dimension».
- 3) To re-select the interval, press the «Select an interval» button again. After the interval changing, the correlation dimension value will be recalculated.

3.6 Program testing for known systems

The Lorenz system

$$\begin{cases} \dot{x} = 10(y - x), \\ \dot{y} = rx - y - xz, \\ \dot{z} = xy - \frac{8}{3}z. \end{cases} \quad (7)$$

According to the theory, the correlation dimension of the Lorenz system is (7): $d_{theor}=2,05\pm 0,01$.

The correlation dimension for different values of r parameter was calculated (table 1).

Table 5 – The dependence of the correlation dimension from r parameter

r	d
10	0,0866
13,92	0,1833
20	1,3070
24,7368	1,9492
25	1,9703
30	1,9989
32	1,9664
34	2,0824
35,74	2,0699
37	2,0805
39	2,0444

The Henon map

$$\begin{cases} x_{n+1} = 1 - \alpha x_n^2 + y_n, \\ y_{n+1} = \beta x_n. \end{cases} \quad (8)$$

According to the theory the correlation dimension of the Henon map is (8): $d_{meop}=1,21\pm 0,001$ ($\alpha=1,4$ and $\beta=0,3$).

As the result of the experiment with these parameters we obtained that: $d=1,2145$.

The experimental values of the considered systems (7, 8) are very similar to the theoretical. It means that the program can be considered as workable.

Приложение Б

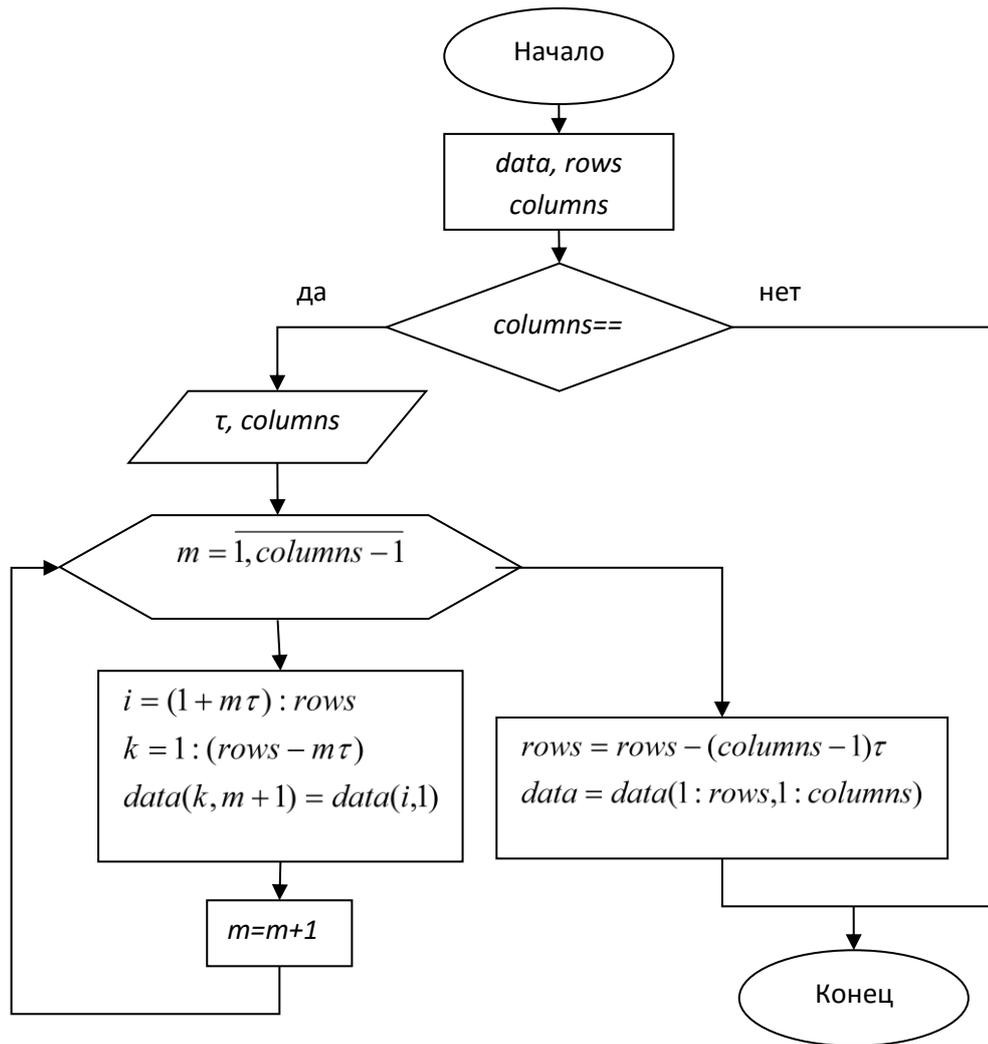


Рисунок Б.1 – Блок-схема алгоритма восстановления фазового пространства

Приложение В

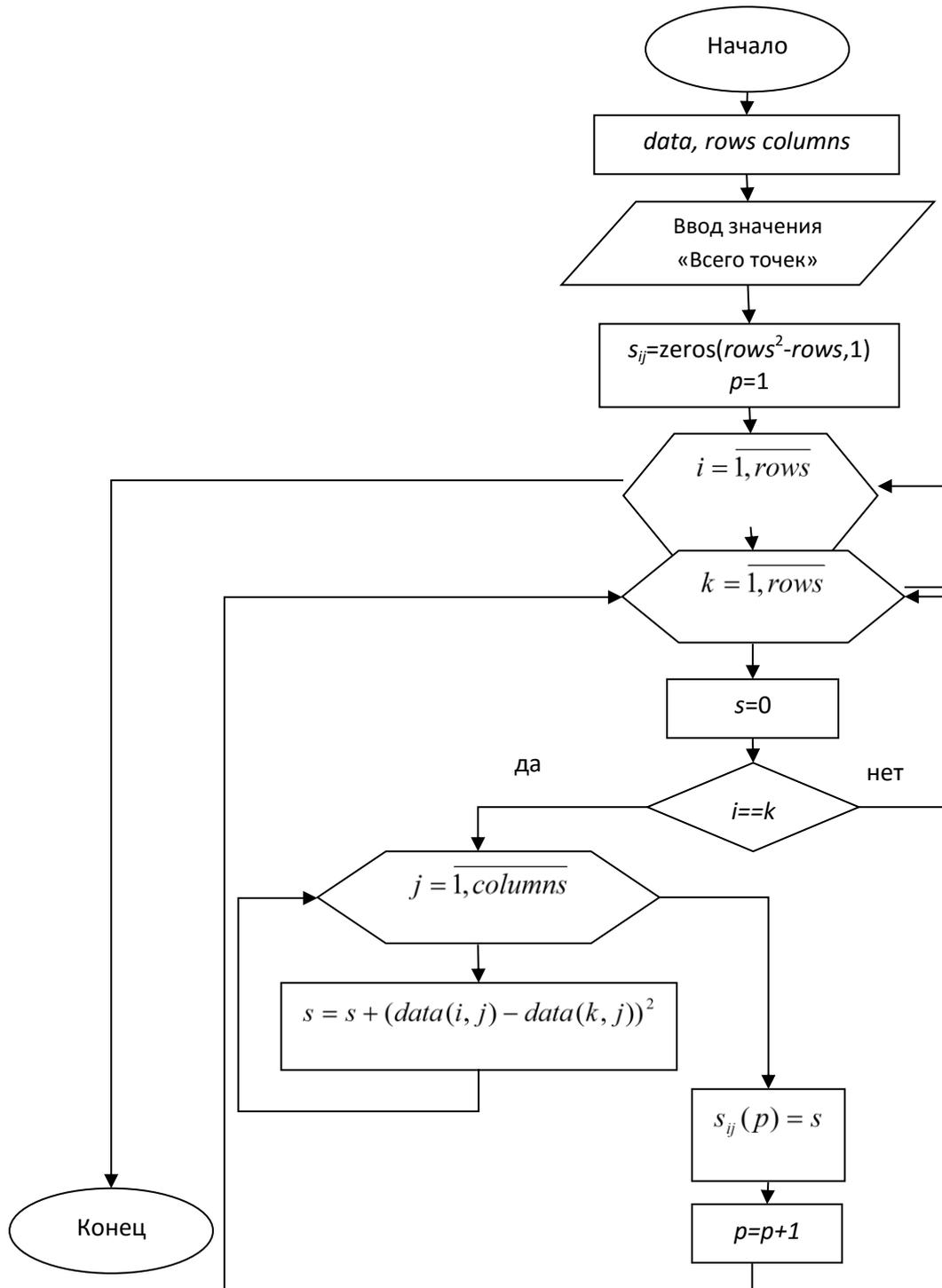


Рисунок В.1 – Блок-схема алгоритма вычисления расстояний между точками в n -мерном пространстве

Приложение Г

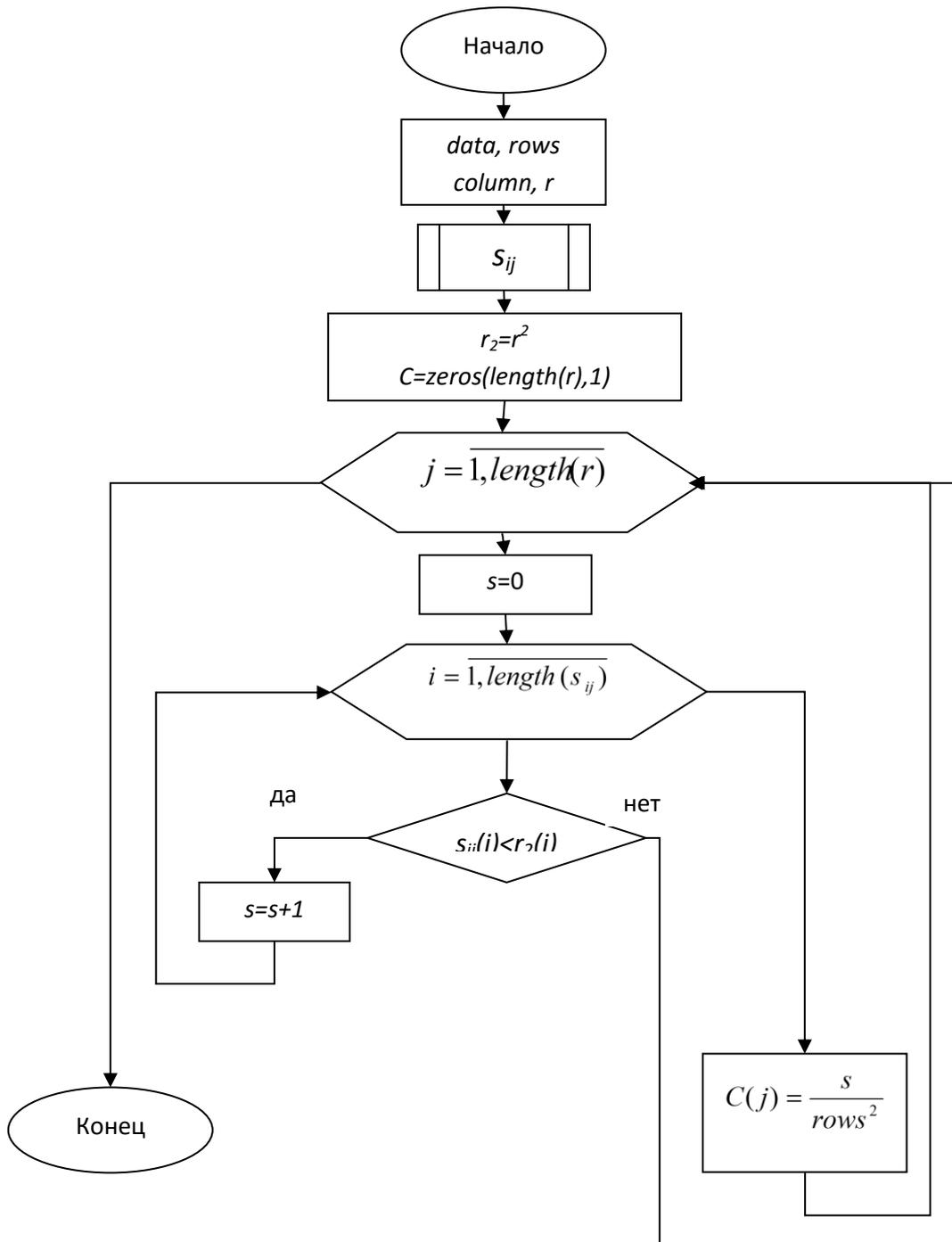


Рисунок Г.1 – Блок-схема алгоритма вычисления корреляционного интеграла от радиуса корреляции