

2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

Факультет нано- и биомедицинских технологий

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по учебно-методической работе,  
профессор

Е.Г. Елина

« 31 » 08 2016 г.



### Рабочая программа дисциплины

#### Частотно-временной анализ биосигналов

Направление подготовки  
03.03.02 «Физика»

Профиль подготовки  
«Медицинская физика»

Квалификация (степень) выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

Саратов, 2016 г.

## **1. Цели освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины «Частотно-временной анализ биосигналов» является формирование у студентов комплекса профессиональных теоретических знаний и умений (владений) и практических навыков в области обработки и анализа цифровых сигналов.

Задачами изучения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний об особенностях анализа и обработки экспериментальных цифровых сигналов, в том числе, зашумленных и нестационарных сигналов сложной формы, имеющих, в частности, биологическую природу;
- формирование умений практической реализации методов обработки и анализа цифровых сигналов в виде компьютерных программ;
- формирование владений методами обработки и анализа цифровых сигналов сложной формы и спектрального состава, в том числе, ориентированными на работу в реальном времени.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата**

Дисциплина «Частотно-временной анализ биосигналов» относится к вариативной части блока «Дисциплины», является дисциплиной по выбору и изучается студентами дневного отделения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ, обучающимися по направлению «Физика», в течение 8 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по дисциплинам «Принципы расширения стандартных прикладных программ», «Математический анализ», «Математика. Часть 1. Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Введение в общую физику» и подготавливает студентов к выпускной квалификационной работе бакалавра.

## **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

В результате освоения дисциплины «Частотно-временной анализ биосигналов» формируются следующие компетенции:

- ОПК-2: способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.
- ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.



В результате освоения дисциплины обучающийся студент должен:

- знать особенности применения корреляционных и спектральных методов для анализа коротких зашумленных экспериментальных временных рядов, в частности, сигналов биологической природы, принципы разделения сигналов в частотной области, принципы синтеза частотно-избирательных цифровых фильтров;
- владеть методиками спектрального и корреляционного анализа экспериментальных временных рядов, основными методами расчета цифровых фильтров,
- уметь реализовывать на практике в виде компьютерных программ изученные методы спектрального, корреляционного анализа, а также фильтрации сигналов в частотной области.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Се-мestр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)	Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	лабораторные	практические	СРС		
1.	Введение в методы обработки временных рядов	8	1-2	4	4		9	индивидуальные отчеты по результатам лабораторной работы в устной форме	
2.	Корреляционный анализ – основы	8	3-4	4	4		9	индивидуальные отчеты по результатам лабораторной работы в устной форме	
3.	Преобразование Фурье и расчет спектров мощности	8	5-6	4	4		9	индивидуальные отчеты по результатам лабораторной работы в устной форме	
4.	Разделение сигналов в частотной области	8	7-8	4	4		9	индивидуальные отчеты по результатам лабораторной работы в устной форме, коллоквиум	
5.	Основные понятия теории дискретных линейных систем. Частотные характеристики	8	9-10	4	4		9	индивидуальные отчеты по результатам лабораторной работы в устной форме	
6.	Методы синтеза цифровых фильтров	8	11-12	6	6		11	индивидуальные отчеты по результатам лабораторной работы в устной форме	
	Итого:			26	26		56	зачет	



### **Содержание дисциплины:**

1. Введение в методы обработки временных рядов. Области науки и техники, использующие ЦОС. Специфика обработки сигналов в реальном времени. Основные термины и понятия. Оценка по сигналам математического ожидания и дисперсии.

2. Корреляционный анализ. Корреляция и ковариация. Свойства ковариационных и корреляционных функций. Примеры использования автокорреляции. Пример расчета коэффициента корреляции. Применение взаимных корреляционных функций.

3. Преобразование Фурье. Жан Батист Фурье. Преобразование Фурье. Некоторые свойства преобразования Фурье. Дискретное преобразование Фурье. Вычисление ДПФ. Пример расчета ДПФ.

4. Особенности использования дискретного преобразования Фурье. Вычислительная сложность ДПФ. Быстрое преобразование Фурье. Эффект подмены частот. Эффект утечки и борьба с ним.

5. Расчет спектров мощности. Вычисление спектров мощности методами Даныелла и Уэлча. Использование логарифмического масштаба. Децибел.

6. Разделение сигналов в частотной области. Свертка. Свойства свертки.

7. Основные понятия теории дискретных линейных систем. Цифровые фильтры. Типы цифровых фильтров. Структурные схемы фильтров. Z-преобразование. Свойства z-преобразования.

8. Передаточная функция и частотные характеристики. Решение разностных уравнений. Передаточная функция. Связь передаточной функции с импульсной характеристикой. Соединение фильтров и их структурные схемы. Критерий устойчивости. Частотные характеристики. Нормировка частоты.

9. Методы синтеза цифровых фильтров. Этапы разработки цифровых фильтров. КИХ-фильтры с линейной фазовой характеристикой. Расчет КИХ-фильтра методом взвешивания. Алгоритм реализации метода взвешивания. Пример расчета фильтра с помощью метода взвешивания. Расчет БИХ-фильтра методом размещения нулей и полюсов. Пример расчета режекторного БИХ-фильтра.

### **5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины**

В преподавании дисциплины «Частотно-временной анализ биосигналов» используются следующие образовательные технологии:

- лекционные занятия,
- лабораторные занятия,
- самостоятельная внеаудиторная работа.

Лекционные занятия проводятся в форме представления преподавателем базовых теоретических сведений по методам цифровой обработки сигналов с последующим подробным обзором и обсуждением примеров реализации и использования изученных методов. При проведении занятий для представления иллюстративных материалов и примеров используется персональный компьютер и мультимедийный проектор.

При проведении лабораторных занятий студенты получают умения реализации изученных на лекции методов цифровой обработки и анализа временных рядов в виде прикладных программ для персонального компьютера.

Самостоятельная внеаудиторная работа заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лабораторным занятиям, подготовке рефератов.

### **Перечень лабораторных работ (примерный)**

1. Оценка эмпирического среднего и дисперсии.
2. Корреляционный анализ.
3. Преобразование Фурье.
4. Особенности использования ДПФ.



5. Расчет спектров мощности.
6. Разделение сигналов в частотной области. Свертка.
7. Основные понятия теории дискретных линейных систем.
8. Передаточная функция и частотные характеристики.
9. Методы синтеза цифровых фильтров.

#### **Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:**

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- использование индивидуальных графиков обучения;
- использование дистанционных образовательных технологий.

#### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Контрольные вопросы.**

Дисциплина «Частотно-временной анализ биосигналов» предполагает следующее учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов:

- изучение учебной и периодической специализированной литературы,
- личные и online-консультации преподавателей.

В качестве оценочных средств для текущего контроля успеваемости используются:

- лабораторные работы.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего периода изучения дисциплины и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лабораторным и практическим (семинарским) занятиям, тестированию, в выполнении заданий преподавателя, работе в компьютерном классе и библиотеке.

#### Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала разбирать вопросы, изложенные на каждом практическом занятии, до следующего, по непонятым деталям консультироваться у преподавателя, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к выполнению и отчетам по лабораторным работам тщательно изучать описание работы, задавать уточняющие вопросы преподавателю и дежурному инженеру, иметь отдельную тетрадь по практикуму, для выполнения заданий и оформления отчетов;
- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать рекомендуемую основную и дополнительную литературу;
- задания, которые даются преподавателем во время занятий по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время зачета и экзамена.

#### **Перечень заданий самостоятельной работы, предлагаемых студентам:**

1. Запрограммировать оценку эмпирического среднего по участку временного ряда методом суммирования с накоплением.
2. Запрограммировать оценку эмпирического среднего по участку временного ряда методом расчета частичных сумм.
3. Запрограммировать оценку эмпирической дисперсии по участку реализации.



4. Сгенерировать реализацию нормально распределенного случайного процесса с единичным средним и дисперсией. Изменяя длину обрабатываемого участка этой реализации: исследовать, как ведут себя оценки по временным рядам эмпирического среднего  $\hat{M}_x(L)$  и эмпирической дисперсии  $\hat{\sigma}_x^2(L)$  в зависимости от длины реализации  $L$ . Построить графики зависимости  $\hat{M}_x(k)$  и  $\hat{\sigma}_x^2(k)$ .

5. Запрограммировать расчет кросскорреляционной функции. Оформить алгоритм в виде подпрограммы.

6. Построить с помощью созданной подпрограммы расчета кросскорреляционной функции авто- и кросскорреляционные функции предложенных временных реализаций случайного процесса, цветного шума, гармонического сигнала и гармонического сигнала с аддитивным белым шумом.

7. С помощью расчета кросскорреляционной функции эталонного участка электрокардиограммы (ЭКГ) человека и исследуемой реализации ЭКГ осуществить поиск R-пиков временного ряда ЭКГ.

8. Запрограммировать прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ), оформив его расчет в виде подпрограммы.

9. Запрограммировать обратное ДПФ, оформив его расчет в виде подпрограммы.

10. С помощью созданной подпрограммы расчета ДПФ продемонстрировать периодограммы эталонных сигналов: гармонического сигнала, гармонического сигнала с аддитивным шумом, периодической последовательности прямоугольных импульсов со скважностью 2.

11. С помощью созданной подпрограммы расчета ДПФ на примере анализа гармонических сигналов продемонстрировать влияния эффектов утечки и отражения частот.

12. Запрограммировать, оформив в виде подпрограмм, оконные преобразования Бартлетта и Хэмминга. С помощью созданной подпрограммы расчета ДПФ на примере анализа эталонных сигналов (суммы гармонических сигналов) продемонстрировать возможности использования оконных преобразований для борьбы с эффектами утечки.

13. С помощью созданной подпрограммы расчета ДПФ запрограммировать метод Даньелла для оценки спектров, оформив алгоритм в виде подпрограммы.

14. С помощью созданной подпрограммы расчета ДПФ запрограммировать метод Уэлча для оценки спектров, оформив алгоритм в виде подпрограммы.

15. Продемонстрировать в ходе анализа эталонных сигналов преимущества оценки спектральных свойств стохастических сигналов с помощью методов Даньелла и Уэлча по сравнению с методом, основанным на расчете периодограммы.

16. Запрограммировать, оформив в виде функции, расчет свертки последовательности с заданной импульсной характеристикой. Работоспособность программы проиллюстрировать на предложенных примерах.

17. Запрограммировать расчет методом “быстрой свертки”, используя созданную ранее подпрограмму расчета ДПФ. Работоспособность программы проиллюстрировать на предложенных примерах.

18. Записать описывающее систему разностное уравнение по известной передаточной функции.

19. Записать передаточную функцию системы по известному разностному уравнению.

20. Запрограммировать расчет рекуррентным методом деления в столбик заданного количества членов импульсной характеристики системы с БИХ по заданной передаточной функции.

21. Запрограммировать фильтрацию временного ряда с помощью КИХ-фильтра с заданной импульсной характеристикой.

22. Запрограммировать фильтрацию временного ряда с помощью БИХ-фильтра с заданными коэффициентами.



### **Примерный перечень предлагаемых тем рефератов**

1. Области науки и техники, использующие ЦОС.
2. Специфика обработки сигналов в реальном времени.
3. Применение взаимных корреляционных функций.
4. Особенности использования дискретного преобразования Фурье. Эффект подмены частот.
5. Особенности использования дискретного преобразования Фурье. Эффект утечки и борьба с ним.
6. Вычисление спектров мощности методами Даньелла и Уэлча.
7. Современные методы синтеза цифровых фильтров.

Курсовые проекты выполняются под руководством преподавателей и сотрудников выпускающей кафедры и должны содержать элементы литературного обзора по теме, расчетов, анализа в соответствии с конкретной спецификой выбранной темы. Работу следует выполнять в течение всего учебного года с периодическим обсуждением результатов с руководителем и лектором.

### **Примерный перечень предлагаемых тем курсовых работ:**

1. Расчет, реализация и тестирование полосового фильтра с линейной фазо-частотной характеристикой для выделения в реальном времени из экспериментальных сигналов спектральных составляющих с заданными частотами.
2. Разработка и создание программного модуля для выделения в реальном времени сигналов мгновенных фаз.
3. Разработка и реализация метода автоматического поиска участков фазовой синхронизации в реальном времени.
4. Исследование взаимодействия сложных систем по их нестационарным зашумленным коротким временным рядам с помощью корреляционного анализа.
5. Разработка и реализация методики получения в реальном времени эквидистантной кардиоинтервалограммы с помощью кросскорреляционного анализа.

### **Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации**

1. Области науки и техники, использующие ЦОС. Задачи, решаемые с помощью ЦОС. Специфика обработки сигналов в реальном времени. Основные термины и понятия.
2. Оценка по сигналам математического ожидания и дисперсии.
3. Корреляция и ковариация. Свойства ковариационных и корреляционных функций. Авто- и кросс-корреляция. АКФ эталонных сигналов.
4. Дискретное преобразование Фурье. Преобразование Фурье эталонных сигналов.
5. Вычислительная сложность ДПФ. Быстрое преобразование Фурье. Способы нормировки частоты. Преобразование Фурье эталонных сигналов.
6. Эффект подмены частот и методы борьбы с ним.
7. Эффект утечки и борьба с ним.
8. Спектр мощности. Периодограмма. Обзор методов оценки спектра мощности.
9. Оценка спектров мощности методом Даньелла.
10. Оценка спектров мощности методом Уэлча.

### **Вопросы для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины**

1. Области науки и техники, использующие ЦОС. Задачи, решаемые с помощью ЦОС. Специфика обработки сигналов в реальном времени. Основные термины и понятия.
2. Оценка по сигналам математического ожидания и дисперсии.
3. Корреляция и ковариация. Свойства ковариационных и корреляционных функций. Авто- и кросс-корреляция. АКФ эталонных сигналов.
4. Дискретное преобразование Фурье. Преобразование Фурье эталонных сигналов.



5. Вычислительная сложность ДПФ. Быстрое преобразование Фурье. Способы нормировки частоты. Преобразование Фурье эталонных сигналов.
6. Эффект подмены частот и методы борьбы с ним.
7. Эффект утечки и борьба с ним.
8. Спектр мощности. Периодограмма. Обзор методов оценки спектра мощности.
9. Оценка спектров мощности методом Даньелла.
10. Оценка спектров мощности методом Уэлча.
11. Использование логарифмического масштаба. Децибел.
12. Разделение сигналов в частотной области. Прямоугольный фильтр.
13. Свертка. Свойства свертки.
14. Основные понятия теории дискретных линейных систем.
15. Типы цифровых фильтров. Соединение фильтров и их структурные схемы.
16. Z-преобразование. Свойства z-преобразования. Z-плоскость. Критерий устойчивости линейных систем.
17. Передаточная функция и частотные характеристики. Связь передаточной функции с импульсной характеристикой.
18. Обзор методов расчета цифровых фильтров.
19. Расчет КИХ-фильтра методом взвешивания.
20. Расчет БИХ-фильтра методом размещения нулей и полюсов.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 7.1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности в 8 семестре

1	2	3	4	5	6	7	8
Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
10	35	0	35	0	0	20	100

### Программа оценивания учебной деятельности студента

#### *Лекции*

- Посещаемость за один семестр:  
от 0 до 10 баллов.

#### *Лабораторные занятия*

- Выполнения лабораторных работ предусмотренных рабочей программой:  
от 0 до 35 баллов

#### *Практические занятия*

- Не предусмотрено рабочей программой.

#### *Самостоятельная работа*

- Оформление отчетов о выполненных лабораторных работах и рефератов  
от 0 до 35 баллов

#### *Автоматизированное тестирование*

- Не предусмотрено рабочей программой.

#### *Другие виды учебной деятельности*

- Не предусмотрено рабочей программой.

#### *Промежуточная аттестация (зачет)*

Подготовка студента к прохождению промежуточной аттестации осуществляется в ходе лабораторных занятий, а также во внеаудиторные часы в рамках самостоятельной работы



студента. Во время самостоятельной подготовки студент пользуется конспектами лекций, основной и дополнительной литературой по дисциплине. Промежуточная аттестация проводится в виде зачёта (8 семестр).

Во время проведения зачета студент должен дать развернутый ответ на вопросы экзаменационного билета. Преподаватель вправе задавать дополнительные вопросы по всем разделам изучаемой дисциплины. Во время ответа студент должен продемонстрировать знания по всему материалу изучаемой дисциплины. Студент должен уметь разделять факты и их интерпретацию, владеть методами аргументирования своих утверждений.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента по дисциплине «Частотно-временной анализ биосигналов» составляет 100 баллов.

Пересчет полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Частотно-временной анализ биосигналов» в оценку (экзамен) осуществляется в соответствии с таблицей 7.3.

Таблица 7.3 – Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Частотно-временной анализ биосигналов» в оценку.

51 – 100 баллов	«зачтено»
0 – 50 баллов	«не зачтено»

Текущие индивидуально набранные студентами баллы доводятся до их сведения 2 раза за семестр: в конце 6 и 12 недель обучения.

Зачет студентам, успешно прошедшим обучение по дисциплине «Частотно-временной анализ биосигналов», может быть проставлен без сдачи зачета на основании рейтинговой оценки по решению преподавателя.

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Занятия по дисциплине «Частотно-временной анализ биосигналов» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, мультимедийными установками и пр. (презентации, программное обеспечение, плакаты). При проведении семинаров и практических занятий используются электронные презентативные и справочные материалы, используется специализированное программное обеспечение (среда разработки для языка высокого уровня).



## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Основная литература:

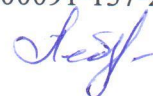
1. Цифровые методы обработки информации [Электронный ресурс] / И. В. Борисова. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2014. - 139 с. - ISBN 978-5-7782-2448-3 (Режим доступа: ЭБС «Znanium.com» <http://znanium.com/go.php?id=546207> )
2. Базовые и прикладные информационные технологии [Электронный ресурс] : Учебник / Валентина Александровна Гвоздева. - Москва : Издательский Дом "ФОРУМ" ; Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2014. - 384 с. - ISBN 978-5-8199-0572-2 (Режим доступа: ЭБС «Znanium.com» <http://znanium.com/go.php?id=428860> )
3. Информационные технологии и системы [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Елена Леонидовна Федотова. - Москва : Издательский Дом "ФОРУМ" ; Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2014. - 352 с. - ISBN 978-5-8199-0376-6 (Режим доступа: ЭБС «Znanium.com» <http://znanium.com/go.php?id=429113> )
4. Основы теории информации [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Александра Михайловна Маскаева. - Москва : Издательство "ФОРУМ" ; Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2014. - 96 с. - ISBN 978-5-91134-825-0 (Режим доступа: ЭБС «Znanium.com» <http://znanium.com/go.php?id=429571> )
5. Интеллектуальные средства измерений [Электронный ресурс] : Учебник. / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. - 1. - Москва : ООО "КУРС" ; Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2016. - 280 с. - ISBN 978-5-906818-66-9 (Режим доступа: ЭБС «Znanium.com» <http://znanium.com/go.php?id=551202> )

### Дополнительная литература:

6. Программирование на языке высокого уровня. Программирование на языке Object Pascal [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Т. И. Немцова, С. Ю. Голова, И. В. Абрамова. - Москва : Издательский Дом "ФОРУМ" ; Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2015. - 496 с. - ISBN 978-5-8199-0372-8 (Режим доступа: ЭБС «Znanium.com» <http://znanium.com/go.php?id=472870> )
7. Языки программирования [Электронный ресурс] : Учебное пособие / О. Л. Голицына, И. И. Попов, Т. Л. Партыка. - 3, перераб. и доп. - Москва : Издательство "ФОРУМ" ; Москва : Издательский Дом "ИНФРА-М", 2015. - 400 с. - ISBN 978-5-91134-744-4 (Режим доступа: ЭБС «Znanium.com» <http://znanium.com/go.php?id=493421> )
8. Программирование в среде Lazarus для школьников и студентов [Электронный ресурс]: Учебное пособие / С. Р. Гуриков. - Москва : Издательство "ФОРУМ" ; Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2016. - 336 с. - ISBN 978-5-00091-137-2 (Режим доступа: ЭБС «Znanium.com» <http://znanium.com/go.php?id=520628> )


### Программное обеспечение и интернет-ресурсы:

1. Операционная система Windows (XP/Vista/7/8), Linux или MacOS.
2. Интернет-браузер Firefox, Opera или Google Chrome.
3. Среда разработки Lazarus;
4. Среда разработки Geany;
5. Интернет ресурс: <https://www.freepascal.org>;
6. Интернет ресурс: <https://www.geany.org>.



Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 «Физика» и профилю подготовки «Медицинская физика».

Автор, ассистент кафедры динамического моделирования  
и биомедицинской инженерии

  
\_\_\_\_\_ Боровкова Е.И.  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.


Программа одобрена на заседании кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии, протокол № 8 от 23 августа 2016 г.

Программа актуализирована в 2016 г. (одобрена на заседании кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии от «23» августа 2016 года, протокол № 8).

Зав. кафедрой динамического моделирования  
и биомедицинской инженерии, д.ф.-м.н.

  
\_\_\_\_\_ Селезнёв Е.П.  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Декан факультета нано- и биомедицинских технологий,  
д.ф.-м.н., профессор

  
\_\_\_\_\_ Вениг С.Б.  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.