

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
Высшего профессионального образования  
**«Владимирский государственный университет**  
**имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
(ВлГУ)



А.А.Панфилов

« 15 » \_\_\_\_\_ 20 15 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль/программа подготовки "Инженерно-физические технологии в nanoиндустрии"

Уровень высшего образования: Магистр

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
2	5/180	18	18	36	72	Экзамен (36)
Итого	5/180	18	18	36	72	Экзамен (36)

Владимир 20 15

*Handwritten mark*

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины (модуля) Методы математического моделирования являются: приобретение знаний и навыков, позволяющих анализировать естественно научные и технические задачи в области микро и нано системной техники с математической точки зрения, умение сформулировать производственную задачу на математическом языке (языке дифференциальных уравнений или интегральных уравнений или на языке других типов математических моделей); приобретение знаний и навыков решения и исследования математических моделей физического или технического процесса, решения задач математической физики, умения анализировать и интерпретировать полученные результаты с практической точки зрения.

### *Задачи изучения дисциплины:*

1) ознакомление с классификацией методов дифференциальных уравнений производных, типами граничных условий, умение составить краевые задачи и задачи Коши для типичных физических процессов, таких как теплообмен, массообменные, электромагнитные явления, волновые и колебательные процессы;

2) овладение классическими приемами и методами аналитического решения конкретных задач математической физики из различных областей физики и техники;

3) ознакомление и овладение навыками решения дифференциальных уравнений современными численными методами с использованием компьютера и компьютерных программ MATLAB

Дисциплина является одной из теоретических и прикладных математических дисциплин, определяющих уровень профессиональной подготовки современного специалиста в области нанотехнологий и микросистемной техники.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Методы математического моделирования» относится к базовой части ОПОП направления подготовки 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» по программе "Инженерно-физические технологии в nanoиндустрии".

В процессе ее изучения используются базовые знания студентов в таких областях высшей математики, как векторный анализ, дифференциальное и интегральное исчисление, полученные ими при изучении дисциплины «Математика», «Компьютерные технологии в научных исследованиях». В свою очередь, дисциплина «Методы математического моделирования» обеспечивает базовый уровень изучения материала дисциплин: «Микро- и наносистемы в технике и технологиях», «Технологии производства микро- и наносистем», «Лазерные микро- и нанотехнологии» и «Нанофотоника». Знания и умения, полученные в рамках изучения данной дисциплины, могут быть применены для написания выпускной квалификационной работы.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**ПК-3** способностью к проведению измерений и исследования различных объектов по заданной методике.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1). **Знать:** адекватные современному уровню знаний методики измерений и методы исследования для моделирования различных материалов и компонентов нано- и микросистемной техники. (ПК-3).

2). **Уметь:** применять знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики в области моделирования материалов и компонентов нано- и микросистемной техники. (ПК-3).

3). Владеть: знаниями основных положений, законов и методов естественных наук и математики в области моделирования материалов и компонентов нано- и микросистемной техники. (ПК-3).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	Методология математического моделирования	2	1-5	4	2	6	-	16		6/50%	
2	Детерминистические методы	2	6-10	5	6	10	-	20		10/48%	Рейтинг-контроль 1
3	Стохастические методы	2	11-14	5	6	10	-	18		10/48%	Рейтинг-контроль 2
4	Некоторые новые объекты моделирования	2	15-18	4	6	10	-	18		8/40%	Рейтинг-контроль 3
<b>Всего</b>		2	1-18	18	18	36	-	72		34/47%	Экзамен (36)

#### СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

##### ЛЕКЦИИ

- Лекция 1. Введение в методы компьютерного моделирования.  
 Лекция 2. Типы моделей. Особенности моделей малоразмерных систем.  
 Лекция 3. Некоторые классические задачи. Прямая и обратная задача Коши.  
 Лекция 4. Метод молекулярной динамики. Канонический ансамбль.  
 Лекция 5. Молекулярная динамика при постоянных температуре и давлении  
 Лекция 6. Броуновская динамика.  
 Лекция 7. Методы Монте-Карло для микроканонического ансамбля.  
 Лекция 8. Понятие и модели детерминированного хаоса. Модели Синергетики.  
 Лекция 9. Формирование структур. Фракталы. Солитоны.

##### ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

- Практ. 1. Классическая задача гармонического и ангармонического осциллятора.  
 Практ. 2. Квантово-механические модели электрона в конденсированных средах.  
 Практ. 3. Моделирование явлений переноса. Нелинейное уравнение теплопроводности.  
 Практ. 4. Моделирование фазовых переходов.  
 Практ. 5. Модели атомной подвижности. Структурные модели кластеров.  
 Практ. 6. Математические модели транспортно-диффузионного переноса.  
 Практ. 7. Примеры дискретных и непрерывных хаотических систем.  
 Практ. 8. Методы расчёта характеристик хаотических систем. Бифуркации.  
 Практ. 9. Моделирование роста диссипативных структур. Самоорганизация.

##### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ)

- Лаб. раб. 1. Введение в Matlab.  
 Лаб. раб. 2. Квантовая модель одноэлектронного атома.

- Лаб. раб. 3.** Многоэлектронные атомы.  
**Лаб. раб. 4.** Потенциалы взаимодействия микрочастиц.  
**Лаб. раб. 5.** Моделирование систем методом молекулярной динамики.  
**Лаб. раб. 6.** Моделирование процесса формирования нанокластеров  
**Лаб. раб. 7.** Исследование бифуркационных переходов в дискретных системах.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Реализация компетентностного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, составляет не менее 30% аудиторных занятий.

В учебном процессе при изучении дисциплины «Методы математического моделирования» используются следующие формы проведения занятий:

– лекции с изложением основных положений и методов математического моделирования, математических понятий, изучаемых в рамках дисциплины, подробным описанием и доказательством наиболее важных свойств этих математических понятий и их взаимосвязей друг с другом;

– практические занятия с более подробным изучением основных свойств математических понятий, изучаемых в рамках дисциплины, выяснением их взаимосвязей друг с другом на примерах и задачах;

– индивидуальные и коллективные консультации с активным участием обучающихся по наиболее сложным частям теоретического материала дисциплины и по задачам повышенной сложности;

– самостоятельная работа по доказательству некоторых свойств некоторых математических понятий, изучаемых в рамках дисциплины, с целью развития самостоятельного умения доказывать математические утверждения и последующее обсуждение проделанной работы во время индивидуальных и коллективных консультаций;

– самостоятельная работа по выполнению индивидуальных заданий по основным разделам дисциплины;

– самостоятельная работа по выполнению домашних заданий к практическим и лабораторным занятиям по основным разделам дисциплины.

Изучение курса «Методы математического моделирования» предусматривает использование компьютеров с доступом в Интернет. При помощи компьютеров, в частности, осуществляется доступ к ресурсам электронной библиотеки ВлГУ, каталога и электронного читального зала библиотеки. Выполнение практических работ предусматривает использование компьютерных классов с пакетом Matlab, для получения опыта численного анализа задач с использованием ЭВМ.

Изучение курса «Методы математического моделирования» предусматривает встречи на занятиях с ведущими специалистами кафедр «Физика и прикладная математика» и «Функциональный анализ и его приложения».

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.

**а) вопросы рейтинг-контроля:**

*Рейтинг-контроль 1*

Вопрос 1.

1) Элементом системы называется: а) часть системы, имеющая локальную цель; б) неделимая часть системы; в) часть системы, описываемая элементарным математическим действием; г) подсистема, в состав которой не входят другие подсистемы.

- 2) Объект-заместитель объекта-оригинала, предназначенный для получения информации об оригинале, называется: а) моделью; б) макетом; в) аналогом; г) заглушкой.
- 3) Аналоговые модели основаны на: а) сходстве математических описаний объекта и модели; б) одинаковой физической природе процессов в объекте и в модели; в) использовании аналоговых интегральных микросхем; г) моделировании динамики протекания процесса во времени.
- 4) Свойство модели, заключающееся в слабой чувствительности результата к изменениям ее параметров, называется: а) непротиворечивостью; б) реалистичностью; в) точностью; г) устойчивостью.
- 5) Моделью с сосредоточенными параметрами называется: а) модель, параметры которой сосредоточены внутри черного ящика; б) модель, построенная без использования параметров состояния; в) модель, параметры которой не зависят от пространственных координат; г) модель, имеющая один входной и один выходной параметр.

Вопрос 2.

- 1) Существует множество качественных формулировок принципа Борна-Оппенгеймера. Какая из них ближе всего к действительности?
  - а) В первом приближении электрон движется в поле неподвижного ядра, а ядро – в поле неподвижного электрона; б) Кинетическая энергия ядер и их потенциальная энергия в поле электронов бесконечно малы; в) Если скорость изменения электронной волновой функции электронов при изменении координат ядер мала, то в полном гамильтониане координаты ядер можно считать постоянными; г) Изменение координат ядер практически не затрагивает волновых функций электронов.
2. Малым параметром Борна-Оппенгеймера называется: а) Отношение расстояния между соседними электронными уровнями к энергии основного состояния; б) Отношение наибольшей частоты колебаний ядер к расстоянию между соседними электронными уровнями; в) Отношение массы электронов к массе ядерного остова молекулы; г) Отношение энергии взаимодействия электронов друг с другом к энергии электрона в поле ядра.
3. Что называется орбиталью в квантовой механике? а) Классическая траектория электрона в молекуле; б) Распределение электронной плотности в молекуле; в) Многоэлектронная волновая функция; г) Одноэлектронная волновая функция.
4. Набор спин-орбиталей из соображений удобства выбирают: а) Ортонормированным; б) Ортогональным; в) Минимизирующим электронную плотность; г) Не ортонормированным.
5. Сколько различных спиновых состояний может быть у частицы со спином  $S$ ? а)  $2S+1$ ; б)  $2S-1$ ; в)  $2S$ ; г)  $S$ .

### **Рейтинг-контроль 2**

1. Является ли приближение Борна-Оппенгеймера разновидностью адиабатического приближения. Что такое адиабатическое приближение? Почему в разных областях физики разные процессы могут называть адиабатическими? Что общего во всех адиабатических процессах?
 

Метод Хартри-Фока, в отличие от метода Хартри, учитывает: а) симметричность электронной волновой функции относительно перестановок частиц; б) все возможные виды межэлектронных взаимодействий; в) антисимметрию электронной волновой функции относительно перестановок частиц; г) движение ядер в поле электронов.
2. Какие свойства молекул определяются движением ее ядер? Как эти свойства используются на практике при исследовании вещества?
 

В молекуле водорода электронная плотность между ядрами принимает значение: а) Нулевое; б) Ненулевое, и при этом имеет локальный минимум; в) Ненулевое, и при этом имеет локальный максимум; г) Ненулевое, и при этом имеет глобальный максимум.
3. Выразите условие применимости приближения Борна-Оппенгеймера через отношение массы электрона и ядерного остова молекулы. (Пригодное для моделирования).
 

Скалярное произведение двух волновых функций, описываемых детерминантами Слетера и отличающихся тремя орбиталями, равно: а) 1; б)  $1/3$ ; в)  $1/9$ ; г) 0.

4. Обоснуйте возможность представления многоэлектронной волновой функции в виде произведения орбиталей. Всегда ли такое разделение возможно?

Уравнение Хартри-Фока является интегро-дифференциальным, причем интегральные члены в записи гамильтониана связаны: а) с кинетической энергией электронов; б) с полной потенциальной энергией электронов; в) электростатическим отталкиванием и обменным взаимодействием; г) обменным взаимодействием.

5. Как выражаются многоэлектронные волновые функции через спин-орбитали? Обладает ли состояние, записанное Вами, определенной проекцией полного спина?

Физической основой метода Хартри-Фока является: а) метод самосогласованного поля; б) адиабатическое приближение; в) приближение малой скорости движения электронов; г) приближение различимых частиц.

### **Рейтинг-контроль 3.**

1. Назовите основное физическое предположение, лежащее в основе теории функционала электронной плотности.

Почему, в отличие от полной фоковской матрицы, молекулярные интегралы необходимо вычислять только один раз?

Основным фактором, облегчающим нахождение электронных волновых функций и энергетических спектров в кристаллах, является: а) полная неподвижность атомных остовов; б) наличие свободных электронов; в) пространственная периодичность; г) наличие границ.

Расчет электронной плотности как функции расстояния от ядра в модели Томаса-Ферми: а) дает неправильный результат только для расстояний, близких к ядру; б) дает правильные результаты исключительно для инертных газов; в) дает подобные картины распределения электронной плотности для всех атомов; г) принципиально не может быть проведен для ионов.

2. Каковы критерии применимости метода Томаса-Ферми? На каких расстояниях от атомного ядра электронная плотность, вычисленная с его помощью, становится заведомо неправильной?

Функции Ванье в первом приближении вырождаются в: а) плоские волны; б) гауссовы волновые пакеты; в) блоховские функции; г) волновые функции электронов в изолированных атомах.

В каких случаях по знанию электронной плотности принципиально невозможно восстановить волновую функцию? а) в системах с сильной электронной корреляцией; б) в случае наличия взаимодействий, описываемых вектор-потенциалом; в) в случае наличия взаимодействий, описываемых скалярным потенциалом; г) в системах более чем с одним притягивающим центром.

3. Сформулируйте теоремы Хоэнберга-Кона.

Электронный спектр для графитового монослоя: а) линеен во всем диапазоне квазиимпульсов; б) линеен вблизи минимумов зоны Бриллюэна; в) квадратичен вблизи минимумов зоны Бриллюэна; г) совпадает со спектром фотона.

Наибольшие сложности при расчете по теории функционала плотности возникают при описании: а) многочастичных систем; б) ионов; в) систем, где дисперсионные взаимодействия преобладают над остальными; г) кинетики химических реакций.

4. В каких случаях по знанию электронной плотности невозможно вычислить волновую функцию? В связи с этим, какие физические свойства атомов невозможно предсказать в рамках теории функционала электронной плотности?

Запрещенная зона в двухслойном графене появляется: а) как следствие учета  $\sigma$ -связей в графите; б) как следствие наличия дефектов в реальных структурах; в) как следствие приложения слабого продольного электрического поля к слою графена; г) как следствие различия энергий электронов на верхней и нижней графитовых плоскостях.

Основным методом решения уравнения Кона-Шэма является: а) итерационный; б) метод прогонки; в) метод подбора; г) уравнения Кона-Шэма могут быть решены аналитически.

5. В чем состоит приближение локальной электронной плотности и какие его модификации Вам известны?

Назовите аналитический метод, позволяющий восстановить электронный спектр твердого тела: а) вторично-ионная масс-спектроскопия; б) спектроскопия плотности электронных состояний; в) спектроскопия комбинационного рассеяния; г) фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением.

Методы семейства обобщенной градиентной аппроксимации отличаются друг от друга: а) лишь схемой решения исходного интегро-дифференциального уравнения; б) учетом или не учетом электронных корреляций; в) формой записи обменного взаимодействия; г) формой записи функционала кинетической энергии.

### **Вопросы к экзамену:**

- 1 Основные понятия математического моделирования. Классификация математических моделей и методы их расчёта. Иерархия моделей.
- 2 Применение аналогий при построении моделей. Иерархический подход к получению моделей. Нелинейность математических моделей.
- 3 Получение моделей из фундаментальных законов природы (из первых принципов).
- 4 Универсальность математических моделей. Некоторые модели простейших нелинейных объектов.
5. Основные понятия теории моделирования. Методологическая основа моделирования. Моделирование как познавательный процесс.
6. Классификация видов моделирования систем. Классический (индуктивный) подход. Системный подход. Возможности и эффективность моделирования систем на ЭВМ.
7. Детерминированное, стохастическое, статическое, динамическое, дискретное, дискретно-непрерывное, мысленное, наглядное, гипотетическое, аналоговое, знаковое, языковое и символическое моделирование.
8. Аналитическое и имитационное моделирование.
9. Математическая модель объекта. Непрерывно - детерминированные модели. Система автоматического управления. Дискретно - детерминированные модели. Теория автоматов.
10. Дискретно-стохастические модели. Непрерывно-стохастические модели. Вероятностные автоматы.
11. Методы теории планирования экспериментов. Этапы стратегического планирования. Структурная модель. Функциональная модель. Оптимальное планирование эксперимента. Выбор правил останковки имитационного эксперимента с моделью.
12. Анализ и интерпретация результатов моделирования на ЭВМ. Коэффициент корреляции. Область применения регрессионного анализа. Метод наименьших квадратов. Построение линейной регрессионной модели. Дисперсионный анализ результатов моделирования.
13. Основные предельные теоремы теории вероятностей и их использование в статистическом моделировании. Закон больших чисел. Псевдослучайные числа и процедуры их машинной генерации.
14. Оценка точности и достоверности результатов моделирования. Проверка качества последовательностей псевдослучайных чисел. Характеристики качества генераторов: длина периода, длина отрезка аперидичности. Моделирование случайных величин.
15. Примеры применения статистического моделирования.
16. Вычисление определённых интегралов, решение системы алгебраических уравнений и дифференциальных уравнений.
17. Теория случайных блужданий. Теория перколяции.
18. Моделирование процесса образования регулярных самоподобных структур.
19. Регулярные фракталы и самоподобие. Фрактальная размерность. Теория клеточных автоматов.
20. Моделирование дифракции и интерференции электромагнитных волн.
21. Вычисление энтропии в макроскопических системах. Моделирование микроканонического ансамбля.
22. Модель Изинга.

23. Дискретные модели нелинейных колебаний и волн.
24. Детерминированный хаос и его характеристики. Фазовые портреты. Дерево бифуркаций. Размерность и энтропия.
25. Моделирование флуктуаций и индуцированных шумом переходов.
25. Компьютерное моделирование микро и наноструктур.

**в) вопросы к самостоятельной работе студента:**

1. Какие математические методы можно отнести к квантово-механическим расчетам «из первых принципов»?
2. В чем суть квантово-теоретического подхода расчетов «из первых принципов»?
3. В чем сходство и различия метода самосогласованного поля и теории функционала плотности?
4. Перечислите наиболее широко используемые потенциалы взаимодействий частиц.
5. Опишите методы моделирования молекулярных систем.
6. Какие многочастичные потенциалы вам известны?
7. Какие полуэмпирические методы вы знаете?
8. В чем отличие метода молекулярной механики от квантово-механических расчетов «из первых принципов»?
9. В чем суть метода молекулярной динамики?
10. Для каких задач может применяться моделирование методом молекулярной динамики?
11. Опишите основные этапы кинетического метода Монте Карло.
12. Назовите основные упрощающие предпосылки метода Хартри-Фока.
13. Докажите, что если в молекуле водорода электроны имеют противоположный спин, то электронная плотность между ядрами имеет ненулевое значение, что приводит к эффективному притяжению ядер (связывающая орбиталь).
14. Опишите кратко технику вычисления матричных элементов операторов между двумя детерминантами Слетера (на примере одноэлектронного оператора).
15. Метод Хартри-Фока является вариационным методом для вычисления орбиталей в сложных системах.
16. Найдите энергию основного состояния в атоме водорода, взяв в качестве пробной функции 1) экспоненту с неизвестным "боровским радиусом":  $\exp(-r/r_B)$  2) гауссову экспоненту с неизвестной дисперсией:  $\exp(-(r/\sigma)^2)$ .
17. Почему уравнение Хартри-Фока нельзя свести к классической задаче на собственные значения оператора?
18. Приведите примеры моделей кластерных систем.
19. Что такое «фрактальные кластеры» и какие модели их формирования вы знаете?
20. Какую информацию дают нам модели атомной подвижности?
21. Какие модели транспортно-диффузионного переноса вы знаете?
22. Перечислите токи, возникающие в приповерхностном слое образца после облучения его поверхности электронным пучком.
23. Какие процессы сопровождают транспорт носителей заряда в облученных материалах?
24. Объясните физическую модель транспорта электронов в материале.
25. Назовите особенности нано структурного состояния, влияющие на процессы переноса заряда в материалах.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

а) основная литература:

1. Аверченков В.И. Основы математического моделирования технических систем [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Аверченков В.И., Федоров В.П., Хейфец М.Л.- Электрон. текстовые данные - Брянск: Брянский государственный технический университет, 2012.- 271 с.



2. Осташков, В.Н. Практикум по решению инженерных задач математическими методами [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Н. Осташков. - Эл. изд. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 200 с.: ил. - (Математическое моделирование). - ISBN 978-5-9963-2114-8.

3. Системное моделирование и методы исследования математических моделей / Морозов В.М. - М.: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 243 с.: 60x90 1/16 ISBN 978-5-906818-32-4.

б) дополнительная литература:

1. Аверченков В. И. Основы математического моделирования технических систем [электронный ресурс] : учеб. пособие / В. И. Аверченков, В. П. Федоров, М. Л. Хейфец. – 2-е изд., стереотип. – М. : ФЛИНТА, 2011. – 271с. - ISBN 978-5-9765-1278-8.

2. Плохотников, К. Э. Метод и искусство математического моделирования [Электронный ресурс]: курс лекций / К. Э. Плохотников. – М. : ФЛИНТА, 2012. – 519 с. - ISBN 978-5-9765-1541-3.

3. Ягола, А.Г. Обратные задачи и методы их решения. Приложения к геофизике [Электронный ресурс] / А. Г. Ягола, Ван Янфей, И. Э. Степанова, В. Н. Титаренко.- 2-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 216 с. : ил. - (Математическое моделирование). - ISBN 978-5-9963-2343-2.

в) периодические издания:

1. Успехи физических наук. [www.ufn.ru/](http://www.ufn.ru/)

2. Журнал технической физики. <http://www.ioffe.ru/index.php?row=28&subrow=0>.

3. Компьютерные исследования и моделирование. <http://crm.ics.org.ru/>.

4. и др.

в) интернет-ресурсы:

1. [www.exponenta.ru](http://www.exponenta.ru)

2. Российская корпорация нанотехнологий: <http://www.rusnano.com>.

3. Нанотехническое сообщество (Новости, публикации, библиотека). <http://www.nanometer.ru/>

4. Нанотехнологии для всех. <http://nanovsem.ru/>.

5. Нанотехнологии и наноматериалы. <http://www.nanoware.ru>.

6. Нанотехнологии в России (Нанопортал). <http://www.rsci.ru/nanotech/>.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Преподавание дисциплины предусматривает применение мультимедийных презентаций и компьютерных симуляций, что обеспечивается проведением занятий в оборудованных мультимедийным оборудованием аудиториях кафедры ФиПМ (ауд. 420-3, ауд. 430-3). Для обеспечения проведения практических и лабораторных работ имеются компьютерные классы кафедры ФиПМ (лаб. 511-3, лаб. 100-3).

Аудитории для проведения занятий оснащены современными персональными компьютерами, объединёнными в локальную вычислительную сеть и укомплектованными необходимым системным и прикладным программным обеспечением, в том числе пакеты Matlab и оригинальный пакет для исследования геометрических и статистических характеристик и реконструкции моделей динамических систем с хаотическим поведением по временным рядам (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Lab 432 №20111615233 от 4 июля 2011 г.).

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника.

Рабочую программу составил профессор кафедры ФиПМ О.Я. Бутковский

(ФИО, подпись)

Рецензент (представитель работодателя)

ген. директор ООО "РС Сервис"

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол № 2А от 13.10.15 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

С.М. Аракелян

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления

28.04.01

Протокол № 2А от 13.10.15 года

Председатель комиссии \_\_\_\_\_

С.М. Аракелян

(ФИО, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_