

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт естественных наук и математики
Кафедра теоретической и математической физики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке

_____ В.В. Кружаев

«___» _____ 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ**

Рекомендована Учебно-методическим советом Института естественных наук и математики
для направлений подготовки и направленностей:

Направление	Направленность	Квалификация
Математика и механика	Механика жидкости, газа и плазмы	Исследователь. Преподаватель- исследователь

СОГЛАСОВАНО
УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ
КАДРОВ ВЫСШЕЙ
КВАЛИФИКАЦИИ

Екатеринбург, 2017

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования

Код направления	Название направления	Реквизиты приказа Министерства образования и науки Российской Федерации об утверждении и вводе в действие ФГОС ВО	
		Дата	Номер приказа
01.06.01	Математика и механика	30.07.14 с изменениями от 30.04.2015, приказ № 464	864

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Кафедра	Подпись
1	Пименов Владимир Германович	Д.ф.-м.н., профессор	Зав. кафедрой	Вычислительной математики и компьютерных наук	
2	Васин Владимир Васильевич	Д.ф.-м.н., профессор	Профессор	Вычислительной математики и компьютерных наук	

Рабочая программа дисциплины одобрена на заседании кафедр:

№	Наименование кафедры (УМС)	Дата заседания	Номер протокола	ФИО зав. кафедрой (предс. УМС)	Подпись
1	Читающая кафедра – Вычислительной математики и компьютерных наук	31.08.2017	№8	В.Г. Пименов	
2	Выпускающая кафедра – Теоретической и математической физики	01.07.2017	№100.089-06/07	А.О. Иванов	

Согласовано:

учебно-методическим советом Института естественных наук и математики

Протокол № 1 от «26» сентября 2017 года.

Председатель УМС ИЕНиМ

Е.С. Буянова.

Начальник ОПНПК

О.А. Неволлина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ **Дополнительные главы численных методов**

1. Пререквизиты	История науки Методология научных исследований
2. Кореквизиты	-
3. Постреквизиты	ГИА
4. Трудоемкость дисциплины, з.е.	3

1.1. Цели дисциплины

Целями освоения дисциплины являются:

- знакомство аспирантов с современным разделом численных методов: теории решения некорректных задач»,
- изучение такие важных для приложений разделов математики, как понятие некорректности, способов регуляризации задач численного дифференцирования, решения плохо обусловленных систем линейных уравнений, экстремальных задач, интегральных уравнений первого рода, линейного и выпуклого программирования.

Изучение дисциплины направлено на формирование студентами компетенций:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК- 1);
- способность самостоятельно формулировать и решать задачи в области проводимой научно-исследовательской деятельности (ПК-1);
- способностью постановки конкретных задач в области механики сплошных сред и в междисциплинарных областях, а также к последующему их критическому анализу (ПК-2).

1.2. Требования к результатам освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- возможности использования теории некорректных задач для математического моделирования и дальнейшего использования методов теории некорректных задач в своей профессиональной деятельности;
- основные научные достижения в области теории некорректных задач, как фундаментальные, так и прикладной направленности.

Уметь:

- оперировать современным аппаратом теории некорректных задач;

- проводить научные исследования, используя как классические, так и современные разделы теории некорректных задач.

Владеть:

- основными теоретическими положениями теории некорректных задач, которые входят в программы кандидатского минимума;
- методами качественного исследования теории некорректных задач, в том числе анализу сложных динамических объектов;
- методами приближенного исследования теории некорректных задач;
- компьютерными технологиями для реализации численных алгоритмов для исследования поведения систем сложной природы.

1.3. Краткое описание дисциплины

В курсе изучаются такие важные для приложений разделы математики, как понятие некорректности, способы регуляризации задач численного дифференцирования, решения плохо обусловленных систем линейных уравнений, экстремальных задач, интегральных уравнений первого рода, линейного и выпуклого программирования.

Цель курса – познакомить студентов с фундаментом теории и современными методами решения нелинейных некорректных задач.

Основная задача курса – ввести студентов в проблему очень важного раздела современной вычислительной математики и функционального анализа с тем, чтобы они могли изучить основные классы нелинейных некорректных задач и освоить подходы к построению эффективных алгоритмов их решения.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах:

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивной форме, составляет 100% объема аудиторной нагрузки по дисциплине.

1.4. Трудоемкость освоения дисциплины

Очная форма обучения

Виды учебной работы, формы контроля	Всего, час.	Номер учебного семестра
		5
Аудиторные занятия, час.	4	4
Лекции, час.	4	4
Практические занятия, час.		
Лабораторные работы, час.		
Самостоятельная работа студентов, час.	104	104
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	3	3

Общая трудоемкость по учебному плану, час.	108	108
Общая трудоемкость по учебному плану, з.е.	3	3

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код разделов и тем	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Примеры неустойчивых задач.	Плохо обусловленные системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), численное дифференцирование и задачи восстановления функций, экстремальные задачи для выпуклого функционала, линейные интегральные уравнения типа свертки, Вольтерра и Фредгольма I-го рода, неклассические задачи математической физики, задачи томографии, обратные задачи для дифференциальных уравнений.
P2	Понятие некорректно поставленной задачи.	Понятие некорректно поставленной задачи. Две основные постановки: решение уравнения и задача вычисления значений неограниченного оператора. Корректность по Адамару, Тихонову и Фикера. Множества корректности. Лемма Хаусдорфа и её обобщения в линейном случае.
P3	Понятие плохо и хорошо обусловленных задач (на примере задачи решения СЛАУ)	Понятие плохо и хорошо обусловленных задач (на примере задачи решения СЛАУ) Мера обусловленности СЛАУ. Анализ погрешности вычислений. Число обусловленности: свойства и способы вычисления (оценки). Обусловленность СЛАУ и устойчивость обратных матриц. Матрица Гильберта и другие примеры. Обобщенные решения (на примере задачи решения СЛАУ) Обобщение понятия решения. Псевдорешение. Анализ метода наименьших квадратов. Регулярный метод нахождения псевдорешения. Метод регуляризации Тихонова. Методы регуляризации (на основе итерационных алгоритмов и сингулярного разложения) Двойственные вариационные методы и итерационные процессы для решения плохо обусловленных СЛАУ. Метод сингулярного разложения и его регуляризация. Итерационное уточнение решения и числа обусловленности. Тактика решения плохо обусловленных СЛАУ и анализ программных средств. Понятие оптимального метода регуляризации Задача об оптимальном регуляризаторе при

		вычислении значений неограниченного оператора. Оценка погрешности.
P4	Задача численного дифференцирования	Регулярные алгоритмы для задачи численного дифференцирования: конечно--разностные схемы в $C(-\infty, \infty)$ метод средних функций. Интерполяционные и сглаживающие сплайны. Абстрактные сплайны. Сравнительный анализ эффективности различных методов численного дифференцирования.
P5	Задачи на экстремум	Постановка задачи на экстремум функционала. Корректность по Адамару и Тихонову и их взаимосвязь. Достаточные условия корректности по Тихонову. Регуляризация с точными и приближёнными данными.
P6	Регуляризация выпуклых проблем	Метод штрафных функций и регуляризация задачи выпуклого программирования в общем случае. Дискретная сходимость алгоритмов. Аппарат дискретной аппроксимации и дискретной сходимости. Достаточные условия сходимости дискретных аппроксимаций в задачах оптимизации. Конечномерная аппроксимация РА. Приложение к вариационному исчислению: обоснование методов Ритца и Эйлера, конечно--разностного метода.
P7	Уравнения I-го рода.	Условия корректности операторных уравнений I-го рода. Уравнения, порождаемые интегральными операторами Фредгольма и Вольтерра и анализ их корректности. Уравнения с априорной информацией. Регуляризация уравнений I-го рода. Тихоновская регуляризация некорректных задач. Методы регуляризации уравнений типа свертки. Итеративная регуляризация. Правила останова итераций. α -процессы и их регуляризованные аналоги. Нелинейные итерационные процессы для решения задач с априорной информацией. Конечномерная аппроксимация регуляризующих алгоритмов. Конечномерная аппроксимация. Критерий сходимости. Приложения общей схемы: квадратурный метод, метод коллокации, проекционные методы. Теоремы сходимости. Методы саморегуляризации для уравнений Вольтерра. Практические рекомендации. Сравнительный анализ эффективности регулярных численных методов решения интегральных уравнений 1 рода.
P8	Примеры нелинейных неустойчивых проблем	Примеры нелинейных неустойчивых проблем. Операторные и интегральные уравнения I-го рода (задачи гравиметрии и оптики), задачи оптимизации выпуклого функционала, вариационные неравенства.

		Обратные задачи для дифференциальных уравнений. Взаимосвязь различных постановок.
P9	Принцип неподвижной точки	Принцип неподвижной точки. Классические принципы неподвижной точки Банаха, Брауэра, Шаудера, Какутани. Принцип неподвижной точки Браудера для нестягивающих отображений. Применение принципа неподвижной точки для корректных задач. Основные классы нелинейных отображений и их взаимосвязь. Сходимость метода последовательных приближений (мпп) в корректном случае. Слабая сходимость итераций для псевдосжимающих отображений.
P10	Метод корректирующих множителей	Метод корректирующих множителей. Регуляризация мпп с помощью корректирующих множителей. Подход Браудера--Гальперина и его обобщение. Приложение к задачам математического программирования. Регуляризация методов математического программирования (прох--метод, метод проекций градиента, фейеровские процессы для систем выпуклых неравенств). Приложение к линейным уравнениям. Итерационные процессы для решения линейных некорректных задач с априорными выпуклыми ограничениями.
P11	Принцип итеративной регуляризации	Принцип итеративной регуляризации. Итеративно регуляризованный мпп и его приложения. Подход Поляка--Бакушинского. Приложение принципа итеративной регуляризации. Итеративно регуляризованный метод Ньютона--Канторовича с монотонным оператором. Регуляризованные варианты метода Гаусса--Ньютона. Регуляризующие свойства процессов Манна для монотонных операторов. Методы регуляризации спектральных проблем. Определение L--базиса ядра линейного оператора. Устойчивые методы его нахождения.
P12	Некоторые коэффициентные обратные задачи	Некоторые коэффициентные обратные задачи. Обратные задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений, обратные коэффициентные задачи для уравнений в частных производных: проблема единственности решения.
P13	Методы решения нелинейных уравнений с априорной информацией	Методы решения нелинейных уравнений с априорной информацией. Модификация методов итеративной регуляризации с помощью фейеровских отображений. Приложения. Понятие субградиента и субдифференциала. Задача негладкой минимизации выпуклого функционала. Итерационные процессы субградиентного типа

Р14	Явные итерационные процессы решения нелинейных уравнений I-го рода	Явные итерационные процессы решения нелинейных уравнений I-го рода Теоремы сходимости для методов Ландвебера, методов наискорейшего спуска и минимальной ошибки. Анализ опыта решения нелинейных интегральных уравнений Фредгольма и Вольтерра, возникающих в обратных задачах естествознания.
-----	--	--

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ПО РАЗДЕЛАМ И КОНТРОЛЬНЫМ МЕРОПРИЯТИЯМ

(по очной форме обучения)

Раздел дисциплины		Аудиторная нагрузка (час.)		Виды, количество и объемы мероприятий																					
Код раздела, темы	Наименование раздела, темы	Всего по разделу, теме (час.)	Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Подготовка к аудиторным занятиям (час.)					Всего (час.)	Выполнение самостоятельных внеаудиторных работ (колич.)							Всего (час.)	Подготовка к контрольным и аттестационным мероприятиям (колич.)				
							Всего	Лекция	Практ., семинар. Занятие	Лабораторное занятие	И/и семинар-конференция, коллоквиум		Домашняя работа*	Графическая работа*	Реферат, эссе, творч. работа*	Инд. или групповой проект*	Перевод инояз. литературы*	Расчетная работа, разработка программного продукта*	Расчетно-графическая работа*		Курсовая работа*	Курсовой проект*	Контрольная работа*	Коллоквиум*	Зачет* (при наличии экзамена)
P1	Примеры неустойчивых задач.	8	2	2			6	-												0					
P2	Понятие некорректно поставленной задачи	6	0				6													0					
P3	Понятие плохо и хорошо обусловленных задач (на примере задачи решения СЛАУ)	12	0				12													0					
P4	Задача численного дифференцирования	6	0				6													0					
P5	Задачи на экстремум	6	0				6													0					
P6	Регуляризация выпуклых проблем	6	0				6													0					
P7	Уравнения I-го рода	6	0				6													0					
P8	Примеры нелинейных неустойчивых	6	0				6													0					

	проблем																									
P9	Принцип неподвижной точки	6	0			6														0						
P10	Метод корректирующих множителей	6	0			6														0						
P11	Принцип итеративной регуляризации	6	0			6														0						
P12	Некоторые коэффициентные обратные задачи	6	0			6														0						
P13	Методы решения нелинейных уравнений с априорной информацией	12	0			12														0						
P14	Явные итерационные процессы решения нелинейных уравнений I-го рода	12	2	2		10														0						
	Всего (час):	104	4	4	0	0	100	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	Всего по дисциплине (час.):	108																								
* Суммарный объем в часах на мероприятие указывается в строке "Всего (час.):»																										

4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1 Лабораторный практикум

Не предусмотрен.

4.2 Практические занятия

Не предусмотрены

4.3 Самостоятельная работа студентов и мероприятия текущего контроля

4.3.1. *Примерный перечень тем рефератов*

Не предусмотрены

4.3.2. *Примерный перечень тем домашних работ*

4.3.3. *Примерный перечень тем контрольных работ*

Не предусмотрены

4.3.4. *Примерный перечень тем расчетных работ*

Не предусмотрены

4.3.5. *Примерный перечень тем расчетно-графических работ*

Не предусмотрены

4.3.6. *Примерная тематика коллоквиумов*

Не предусмотрены

4.3.2. *Примерная тематика курсового проекта (работы)*

Не предусмотрены

4.4. *Примерный перечень контрольных вопросов для подготовки к аттестации по дисциплине*

- Плохо обусловленные системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).
- Численное дифференцирование и задачи восстановления функций.
- Экстремальные задачи для выпуклого функционала.
- Линейные интегральные уравнения типа свертки, Вольтерра и Фредгольма I--го рода.
- Понятие некорректно поставленной задачи.
- Корректность по Адамару, Тихонову и Фикера.
- Множества корректности.
- Лемма Хаусдорфа и её обобщения в линейном случае.
- Мера обусловленности СЛАУ.
- Анализ погрешности вычислений.
- Число обусловленности: свойства и способы вычисления (оценки).
- Обусловленность СЛАУ и устойчивость обратных матриц. Матрица Гильберта и другие примеры.
- Обобщение понятия решения.
- Псевдорешение.

- Анализ метода наименьших квадратов.
- Регулярный метод нахождения псевдорешения.
- Метод регуляризации Тихонова.
- Двойственные вариационные методы и итерационные процессы для решения плохо обусловленных СЛАУ.
- Метод сингулярного разложения и его регуляризация.
- Итерационное уточнение решения и числа обусловленности.
- Тактика решения плохо обусловленных СЛАУ и анализ программных средств.
- Задача об оптимальном регуляризаторе при вычислении значений неограниченного оператора. Оценка погрешности.
- Задача численного дифференцирования
- Регулярные алгоритмы для задачи численного дифференцирования: конечно--разностные схемы в $C(-\infty, \infty)$ метод средних функций.
- Интерполяционные и сглаживающие сплайны.
- Абстрактные сплайны.
- Сравнительный анализ эффективности различных методов численного дифференцирования.
- Постановка задачи на экстремум функционала.
- Корректность по Адамару и Тихонову и их взаимосвязь.
- Достаточные условия корректности по Тихонову.
- Регуляризация с точными и приближёнными данными.
- Метод штрафных функций и регуляризация задачи выпуклого программирования в общем случае.
- Дискретная сходимость алгоритмов.
- Аппарат дискретной аппроксимации и дискретной сходимости.
- Достаточные условия сходимости дискретных аппроксимаций в задачах оптимизации.
- Конечномерная аппроксимация РА.
- Приложение к вариационному исчислению: обоснование методов Рунге и Эйлера, конечно--разностного метода.
- Условия корректности операторных уравнений I--го рода.
- Уравнения, порождаемые интегральными операторами Фредгольма и Вольтерра и анализ их корректности.
- Уравнения с априорной информацией.
- Регуляризация уравнений I--го рода.
- Тихоновская регуляризация некорректных задач.
- Методы регуляризации уравнений типа свертки.
- Итеративная регуляризация. Правила останова итераций.
- α -процессы и их регуляризованные аналоги.
- Нелинейные итерационные процессы для решения задач с априорной информацией.
- Конечномерная аппроксимация. Критерий сходимости.
- Приложения общей схемы: квадратурный метод, метод коллокации, проекционные методы.
- Теоремы сходимости. Методы саморегуляризации для уравнений Вольтерра.
- Сравнительный анализ эффективности регулярных численных методов решения интегральных уравнений I рода.
- Операторные и интегральные уравнения I--го рода (задачи гравиметрии и оптики), задачи оптимизации выпуклого функционала, вариационные неравенства.
- Обратные задачи для дифференциальных уравнений. Взаимосвязь различных постановок.
- Классические принципы неподвижной точки Банаха, Брауэра, Шаудера, Какутани.

- Принцип неподвижной точки Браудера для нестягивающих отображений.
- Применение принципа неподвижной точки для корректных задач. Основные классы нелинейных отображений и их взаимосвязь.
- Сходимость метода последовательных приближений (мпп) в корректном случае. Слабая сходимость итераций для псевдосжимающих отображений.
- Регуляризация мпп с помощью корректирующих множителей. Подход Браудера--Гальперина и его обобщение.
- Регуляризация методов математического программирования (рпх--метод, метод проекций градиента, фейеровские процессы для систем выпуклых неравенств).
- Итерационные процессы для решения линейных некорректных задач с априорными выпуклыми ограничениями.
- Итеративно регуляризованный мпп и его приложения. Подход Поляка--Бакушинского.
- Итеративно регуляризованный метод Ньютона--Канторовича с монотонным оператором.
- Регуляризованные варианты метода Гаусса--Ньютона. Регуляризующие свойства процессов Манна для монотонных операторов.
- Методы регуляризации спектральных проблем Определение L--базиса ядра линейного оператора. Устойчивые методы его нахождения.
- Обратные задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений, обратные коэффициентные задачи для уравнений в частных производных: проблема единственности решения.
- Методы решения нелинейных уравнений с априорной информацией. Модификация методов итеративной регуляризации с помощью фейеровских отображений.
- Понятие субградиента и субдифференциала. Задача негладкой минимизации выпуклого функционала.
- Итерационные процессы субградиентного типа.
- Явные итерационные процессы решения нелинейных уравнений I-го рода
- Теоремы сходимости для методов Ландвебера, методов наискорейшего спуска и минимальной ошибки.
- Анализ опыта решения нелинейных интегральных уравнений Фредгольма и Вольтерра, возникающих в обратных задачах естествознания

В качестве аттестации семинара может засчитываться доклад аспиранта с исследовательской работой.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

5.1. Рекомендуемая литература

5.1.1. Основная литература

- 1) Кузнецов И.Н. Методика научного исследования : Учебно-методическое пособие для магистрантов и аспирантов — Минск : БГУ, 2012. — 246 с.
- 2) Волков Ю.Г. Диссертация: подготовка, защита, оформление : практическое — Москва : Альфа-М : ИНФРА-М, 2012. — 158 с.
- 3) Ягола А.Г., Ван Янфей, Степанова И.Э., Титаренко В.Н. Обратные задачи и методы их решения. Приложения к геофизике. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 216 с.
- 4) Леонов А.С. Решение некорректно поставленных обратных задач: Очерк теории, практические алгоритмы и демонстрации в МАТЛАБ. М.: УРСС, 2013. 336 с.

- 5) Кабанихин С.И. Обратные и некорректно поставленные задачи. Новосибирск. Сибирское научное издательство. 2009.

5.1.2. Дополнительная литература

- 1) Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. М.: Мир, 1980.
- 2) Василенко В.А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы. Новосибирск: Наука, 1983.
- 3) Апарцин А.С. Некоторые интегральные (разностные) неравенства и их приложения. Учебное пособие. Иркутск, изд-во Иркутск. гос. ун-та, 1988.
- 4) Годунов С.К., Антонов А.Г., Кирилюк О.П., Костин В.П. Гарантированная точность решения систем линейных уравнений в евклидовых пространствах. Новосибирск: Наука, 1988.
- 5) Бабенко К.И. Основы численного анализа. М.: Наука, 1986.
- 6) Васин В.В., Агеев А.Л. Некорректные задачи с априорной информацией. УИФ "Наука", Екатеринбург, 1993.
- 7) Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1974.
- 8) Иванов В.И., Васин В.В., Танана В.П. Теория линейных некорректных задач и её приложения. М.: Наука, 1978.
- 9) Завьялов Ю.С., Квасов В.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн функций. М.: Наука, 1980.
- 10) Карманов В.Г. Математическое программирование: Учебное пособие. М.: Наука, 1980.
- 11) Васин В.В. Методы решения плохо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений: Учебное пособие. Свердловск, изд-во СГИ, 1988.
- 12) Васин В.В. Методы решения неустойчивых задач: Учебное пособие. Свердловск, изд-во УрГУ, 1989.
- 13) Бакушинский А.Б., Гончарский А.В. Итеративные методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1989.

5.1.3. Методические разработки

Нет

5.1. Электронные образовательные ресурсы

Все аспиранты имеют полный доступ к перечисленным ресурсам, в т.ч. через авторизованный доступ из сети интернет:

1. Международный индекс научного цитирования Scopus компании Elsevier B.V.
2. Международный индекс научного цитирования Web of Science компании Clarivate Analytics
3. Журналы издательства Wiley
4. Электронная библиотека IEEEEXPLORE Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
5. Журналы American Physical Society (Американского физического общества)
6. Журналы Royal Society of Chemistry (Королевского химического общества)
7. MathSciNET - реферативная база данных American Mathematical Society (Американского математического общества)
8. Патентная база компании QUESTEL
9. Журнал Science Online

10. Журнал Nature
11. Журналы издательства Oxford University Press
12. Журналы издательства SAGE Publication
13. Журналы Американского института физики
14. Журналы Института физики (Великобритания)
15. Журналы Оптического общества Америки
16. Материалы международного общества оптики и фотоники (OSA)
17. Журналы издательства Cambridge University Press
18. Научные журналы по химии Thieme Chemistry Package компании Georg Thieme Verlag KG
19. База данных Annual Reviews Science Collection
20. База данных CASC- Коллекция компьютерных и прикладных наук компании EBSCO Publishing
21. База данных INSPEC на платформе компании EBSCO Publishing
22. База данных Association for Computing Machinery (ACM)
23. База диссертаций ProQuest Dissertations & Theses Global Журнальные базы данных мировой научной информации Freedom Collection компании Elsevier
24. Информационно-аналитическая система управления научными исследованиями Pure компании Elsevier B. V.
25. Наукометрическая база данных Scival компании Elsevier B. V.
26. Аналитическая и информационная база данных REAXYS компании Elsevier,
27. Научные базы данных компании EBSCO Publishing: Business Source Complete и Academic Search Complete, Информационно-поисковая система EBSCO Discovery Service, IEEE All- Society Periodicals Package,
28. Базы данных компании East View,
29. Электронная библиотека диссертаций РГБ;
30. Информационно-аналитическая система FIRA PRO компании ООО«Первое Независимое Рейтинговое Агентство»,
31. Электронная система нормативно-технической документации "Техэксперт" компании КОДЕКС,
32. Базы данных «Интегрум Профи» компании «Интегрум медиа»,
33. Наукометрические базы данных Incites и Journal Citation Report компании Clarivate Analytics,
34. Информационно-аналитическая система SCIENCE INDEX компании «Научная электронная библиотека».

5.2. Программное обеспечение

35. Microsoft Windows7
36. Microsoft Office 2010
37. Microsoft VISIO

5.3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

38. Платформа Springer Link
39. Платформа Nature
40. База данных Springer Materials
41. База данных Springer Protocols
42. База данных zbMath
43. База данных Nano
44. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD Enterprise

5.3. Фонд оценочных средств (средства контроля учебных достижений студентов и аттестационно-педагогические измерительные материалы)

Не используется

6. УЧЕБНО-МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Аспиранты обеспечены специальными помещениями для проведения занятий:

- лекционного типа с наборами демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающих тематические иллюстрации, соответствующие примерным программам дисциплин (модулей), рабочим учебным программам дисциплин (модулей) (общеинститутские лекционные аудитории, кафедральные ауд. 613, 615);

- занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации (общеинститутские аудитории и вычислительные центры, кафедральные ауд. 613, 615);

- лабораторных и научно-исследовательских работ – ауд. 613, 615.

7. ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ

Номер листа изменений	Номер протокола заседания кафедры	Дата заседания кафедры	Всего листов в документе	Подпись ответственного за внесение изменений

Оглавление

1	ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ	Дополнительные главы численных методов	3
1.1.	Цели дисциплины		3
1.2.	Требования к результатам освоения дисциплины		3
1.3.	Краткое описание дисциплины		4
1.4.	Трудоемкость освоения дисциплины.....		4
2.	СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....		5
3.	РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ПО РАЗДЕЛАМ И КОНТРОЛЬНЫМ МЕРОПРИЯТИЯМ.....		8
	(по очной форме обучения)		8
4.	ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....		11
4.1	Лабораторный практикум		11
4.2	Практические занятия		11
4.3	Самостоятельная работа студентов и мероприятия текущего контроля.....		11
4.3.1.	<i>Примерный перечень тем рефератов</i>		11
4.3.2.	<i>Примерный перечень тем домашних работ</i>		11
4.3.3.	<i>Примерный перечень тем контрольных работ</i>		11
4.3.4.	<i>Примерный перечень тем расчетных работ</i>		11
4.3.5.	<i>Примерный перечень тем расчетно-графических работ</i>		11
4.3.6.	<i>Примерная тематика коллоквиумов</i>		11
4.3.2.	<i>Примерная тематика курсового проекта (работы)</i>		11
4.4.	Примерный перечень контрольных вопросов для подготовки к аттестации по дисциплине.....		11
5.	УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ		13
5.1.	Рекомендуемая литература		13
5.1.1.	<i>Основная литература</i>		13
5.1.2.	<i>Дополнительная литература</i>		14
5.1.3.	<i>Методические разработки</i>		14
5.2.	Электронные образовательные ресурсы.....	Ошибка! Закладка не определена.	
5.3.	Программное обеспечение	Ошибка! Закладка не определена.	
5.4.	Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы	Ошибка! Закладка не определена.	
5.5.	Фонд оценочных средств (средства контроля учебных достижений студентов и аттестационно-педагогические измерительные материалы)		14
6.	УЧЕБНО-МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....		16
7.	ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ.....		16