

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.»  
Кафедра «Электронные приборы и устройства»

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине М.1.1.4

**«Математическое моделирование сложных систем»**

направления подготовки 15.04.04

**«Автоматизация технологических процессов и производств»**

Профиль "Интеллектуальные информационно-управляющие системы"

форма обучения – очная

курс – 1

семестр – 1

зачетных единиц – 3

часов в неделю – 3

академических часов – 108,

в том числе:

лекции – 18

коллоквиумы – 0

практические занятия – 36

лабораторные занятия – не предусмотрены

самостоятельная работа – 54

зачет – не предусмотрен

экзамен – 1 семестр

РГР – не предусмотрена

курсовая работа – 1 семестр

курсовой проект – не предусмотрен

## **1. Цели и задачи дисциплины**

Цель преподавания дисциплины «Математическое моделирование сложных систем»: формирование профессиональных компетенций в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом; углубленное изучение принципов построения математических моделей различных классов при проведении научных исследований на основе как экспертных оценок, так и статистической информации, с использованием современных аналитических и вычислительных методов.

Задачи изучения дисциплины:

- изучение основных типов моделей и математических методов исследования систем различных классов;
- изучение и освоение методических принципов построения моделей различных систем, в том числе, в условиях неопределенности, методов формализации моделей;
- разработка моделей реальных систем различных классов с использованием современных методов исследования;
- приобретение практических навыков моделирования на персональных ЭВМ систем различной физической природы;
- обработка и анализ результатов моделирования реальных систем для выявления свойств и закономерностей, присущих процессам, протекающим в системах;
- изучение основных принципов и методов верификации моделей на основе экспертных оценок и статистической информации.

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

Данная учебная дисциплина входит в базовую часть дисциплин учебного плана подготовки магистра по направлению 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Компетенции, сформированные при изучении данной дисциплины, используются при изучении следующих дисциплин: «Теория оптимизации и статистическая динамика автоматических систем», «Системы автоматизации и управления», «Современные приводы и технологии управления», «Системы реального времени», «Информационные технологии в автоматизации и управлении», «Автоматизация процессов измерения, испытаний и контроля», «CALS-технологии», «Методология проектирования процессов». Компетенции, сформированные при изучении данной дисциплины, могут быть полезны при прохождении Производственной практики.

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины

**ПК-16:** способностью проводить математическое моделирование процессов, оборудования, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления с использованием современных технологий научных исследований, разрабатывать алгоритмическое и программное обеспечение средств и систем автоматизации и управления;

**Знает:** методы формализации, алгоритмизации и реализации моделей на ЭВМ; существующие программные и технические средства математического моделирования; математические модели на основе дифференциальных уравнений;

**Умеет:** ставить и решать задачи оптимизации систем с учетом требований, предъявляемых к качеству их функционирования; выбирать наиболее эффективные пути достижения цели - построения адекватной математической модели исследуемого процесса; исследовать построенную модель на адекватность, полноту, устойчивость по входным параметрам;

**Владеет:** современными аналитическими, численными и имитационными методами исследования сложных систем, а также методами оптимизации, направленными на решение задач обработки и анализа результатов эксперимента; численными методами решения обыкновенных дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений в частных производных.

### 4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий

№ Мо-ду-ля	№ Не-де-ли	№ Те-мы	Наименование темы	Часы/ Из них в интерактивной форме					
				Всего	Лек-ции	Коллок-виумы	Лабора-торные	Прак-тичес-кие	СРС
1	2	3	4	5	6	7		8	9
1 семестр									
	1-2	1	Методологические основы моделирования.	6	2				4
	3-4	2	Формализация и алгоритмизация процесса функционирования сложных систем.	6	2				4

	5-6	3	Классификация математических моделей.	6	2				4
	7-8	4	Простейшие вычислительные методы в научных и инженерных расчетах.	18	2			8	8
	9-10	5	Численные методы решения дифференциальных уравнений.	22	2			10	10
	11-12	6	Введение в имитационное моделирование.	8	2				6
	13-14	7	Элементы качественной теории исследования динамических систем.	14	2			6	6
	15-16	8	Универсальность математических моделей.	14	2			6	6
	17-18	9	Методы математической оптимизации.	14	2			6	6
Всего				108	18			36	54

### 5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	<p><b>Методологические основы моделирования.</b></p> <p>Основные понятия математической модели (ММ). Синтез, анализ, оптимизация. Классификация видов моделирования. Основы детерминированного, стохастического, математического, статистического, динамического, дискретного, непрерывного и физического моделирования.</p> <p>Примеры математических моделей в естественных и технических науках.</p>	[1,3,5]

2	2	2	<p><b>Формализация и алгоритмизация процесса функционирования сложных систем.</b>          Сущность компьютерного моделирования сложной системы.          Основные требования, предъявляемые к модели: полнота, гибкость, точность.          Основные этапы моделирования технических систем: построение описательной модели системы и её формализация; алгоритмизация модели и её компьютерная реализация; получение и интерпретация результатов моделирования. Три основных класса ошибок моделирования: ошибки формализации, ошибки решения, ошибки задания параметров системы. Схема взаимосвязи технологических этапов моделирования.          Метод подобия. Метод анализа размерностей.</p>	[1,2]
3	2	3	<p><b>Классификация математических моделей.</b>          Функциональные и структурные модели. Различные подходы к выбору подсистем. Роль декомпозиции. Элементарный уровень декомпозиции и бесструктурные элементы. Модель черного ящика, системы типа «вход – выход». Связь структурных и функциональных моделей.          Дискретные и непрерывные модели. Предельные переходы: континуализация и дискретизация моделей.          Динамические и статические модели. Непрерывные динамические модели. Зависимость от предыстории, «память» системы, время релаксации. Квазистатическое приближение. Статические модели.          Детерминированные и стохастические модели. Реальные системы, их модели и ограниченность детерминированного описания. Недоопределенные модели и стохастический метод описания. Модели случайных воздействий: винеровские процессы и белый шум.          Линейные и нелинейные модели. Линейные модели в <math>N</math>-мерном пространстве состояний. Матрицы простой структуры, процедура диагонализации как коррекция</p>	[1,3,5]

			<p>декомпозиции. Переход к нормальным координатам. Блочно-диагональные матрицы, жорданова клетка. Метод матричных функций Грина.</p> <p>Нелинейные модели, стандартная процедура линеаризации, опорное решение.</p> <p>Статистическая линеаризация.</p>	
4	2	4	<p><b>Простейшие вычислительные методы в научных и инженерных расчетах.</b></p> <p>Численные методы. Основы теории погрешностей. Численные методы решения скалярных уравнений. Численные методы решения систем линейных и нелинейных уравнений. Аппроксимация функции. Про Интерполирование функций. Численное дифференцирование. Численное интегрирование.</p>	[1,3,4,16]
5	2	5	<p><b>Численные методы решения дифференциальных уравнений.</b></p> <p>Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Численные методы решения систем уравнений в частных производных. Примеры приближенных решений интегральных уравнений.</p> <p>Метод Галёркина. Метод конечных разностей. Сеточные методы. Метод прогонки.</p>	[1,2,5,12]
6	2	6	<p><b>Введение в имитационное моделирование.</b></p> <p>Имитационное моделирование. Метод Монте-Карло. Моделирование случайных величин. Псевдослучайные числа и процедуры их машинной генерации. Проверка качества последовательности псевдослучайных чисел.</p> <p>Методы генерации случайных воздействий – величин, последовательностей, процессов, потоков и полей. Алгоритмы метода Монте-Карло.</p> <p>Эволюция содержания терминов «имитация», «имитационная модель» и их современное понимание.</p>	[1,3,6,11]
7	2	7	<p><b>Элементы качественной теории исследования динамических систем.</b></p> <p>Понятие динамической системы.</p>	[1,2,4]

			<p>Качественная (топологическая) структура траекторий системы в пространстве состояний. Автономная динамическая система на плоскости. Качественная структура окрестности состояния равновесия. Предельные траектории, устойчивые и неустойчивые циклы.</p> <p>Грубые и негрубые системы. Бифуркации. Понятие грубой системы. Топологическая инвариантность фазовых портретов. Примеры. Негрубые системы. Пространство параметров. Негрубые области и бифуркационные пленки.</p>	
8	2	8	<p><b>Универсальность математических моделей.</b></p> <p>Динамика скопления амёб. Модель «хищник-жертва». Построение содержательной модели. Приближения модели. Постулаты и уравнения модели. Общая математическая модель и ее коррекция. Некоторые результаты исследования математической модели.</p> <p>Диффузные процессы и дифференциальные уравнения Колмогорова–Фоккера – Планка. Марковские процессы, вывод прямого и обратного уравнений Колмогорова.</p> <p>Понятия открытой системы и самоорганизации. Фракталы. Клеточные автоматы.</p>	[1,2,5,12]
9	2	9	<p><b>Методы математической оптимизации.</b></p> <p>Параметры и факторы оптимизации. Методы нахождения оптимума. Воспроизводимость и рандомизация опытов. Экспериментально–статистические модели. Полный факторный эксперимент. Дробный факторный эксперимент.</p> <p>Метод крутого восхождения. Симплексный метод. Контурно–графический анализ.</p> <p>Линейное программирование. Симплекс-метод.</p> <p>Нелинейное программирование.</p>	[1,3,6,11]

**6. Содержание коллоквиумов**  
Не предусмотрен учебным планом.

## 7. Перечень практических занятий

№ темы	Всего часов	№ занятия	Тема практического занятия. Задания, вопросы, отрабатываемые на практическом занятии	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
4	8	1-4	<p><b>Простейшие вычислительные методы в научных и инженерных расчетах.</b></p> <p>Изучение численных методов решения систем линейных алгебраических уравнений. Решение нелинейных уравнений и систем. Численное дифференцирование. Среднеквадратичное приближение функций. Интерполирование функций. Численное интегрирование. Метод градиентного спуска.</p>	[1,2,4,5]
5	10	5-9	<p><b>Численные методы решения дифференциальных уравнений.</b></p> <p>Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Численные методы анализа распределенных динамических систем (методы Галеркина и сеточные методы).</p>	[2,3,5,7]
7	6	10-12	<p><b>Элементы качественной теории исследования динамических систем.</b></p> <p>Динамические системы с непрерывным временем. Методы описания и визуализации динамики потоковых систем. Построение временных зависимостей систем; фазовых портретов либо на плоскости, либо в пространстве; карты динамических режимов на плоскости управляющих параметров; сечения Пуанкаре различными плоскостями. Численное исследование нелинейного дискретного отображения.</p>	[1,2,5,9]
8	6	13-15	<p><b>Универсальность математических моделей.</b></p> <p>Изучение модели Винера-Розенблюта. Изучение свойств скейлинга и самоподобия. Клеточные автоматы (игра «Жизнь», Аква-Тор, линейный автомат, «Движение толпы»).</p>	[1,2,4,8]
9	6	16-183	<p><b>Методы математической оптимизации.</b></p> <p>Разработка алгоритмов методов решения</p>	[2,3,6,12]



		<p>оптимизационных задач.</p> <p>Разработка алгоритма в виде блок-схемы и программной реализации для следующих методов оптимизации: метод золотого сечения; метод локализации экстремума; метод с использованием чисел Фибоначчи; метод поочередного варьирования переменных; метод наискорейшего спуска; симплексный метод.</p>	
--	--	--	--

## 8. Перечень лабораторных работ

Не предусмотрены учебным планом

## 9. Задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Всего Часов	Задания, вопросы, для самостоятельного изучения (задания)	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4
1	4	<p><b>Методологические основы моделирования.</b></p> <p>Основные понятия математической модели (ММ). Синтез, анализ, оптимизация. Классификация видов моделирования. Основы детерминированного, стохастического, математического, статистического, динамического, дискретного, непрерывного и физического моделирования.</p> <p>Примеры математических моделей в естественных и технических науках.</p>	[1,3,5,13]
2	4	<p><b>Формализация и алгоритмизация процесса функционирования сложных систем.</b></p> <p>Сущность компьютерного моделирования сложной системы.</p> <p>Основные требования, предъявляемые к модели: полнота, гибкость, точность. Основные этапы моделирования технических систем: построение описательной модели системы и её формализация; алгоритмизация модели и её компьютерная реализация; получение и интерпретация результатов моделирования. Три основных класса ошибок моделирования: ошибки формализации, ошибки решения, ошибки задания параметров системы. Схема</p>	[1,2,14]

		взаимосвязи технологических этапов моделирования. Метод подобия. Метод анализа размерностей.	
3	4	<p><b>Классификация математических моделей.</b> Функциональные и структурные модели. Различные подходы к выбору подсистем. Роль декомпозиции. Элементарный уровень декомпозиции и бесструктурные элементы. Модель черного ящика, системы типа «вход – выход». Связь структурных и функциональных моделей.</p> <p>Дискретные и непрерывные модели. Предельные переходы: континуализация и дискретизация моделей.</p> <p>Динамические и статические модели. Непрерывные динамические модели. Зависимость от предыстории, «память» системы, время релаксации. Квазистатическое приближение. Статические модели.</p> <p>Детерминированные и стохастические модели. Реальные системы, их модели и ограниченность детерминированного описания. Недоопределенные модели и стохастический метод описания. Модели случайных воздействий: винеровские процессы и белый шум.</p> <p>Линейные и нелинейные модели. Линейные модели в <math>N</math>-мерном пространстве состояний. Матрицы простой структуры, процедура диагонализации как коррекция декомпозиции. Переход к нормальным координатам. Блочнo-диагональные матрицы, жорданова клетка. Метод матричных функций Грина.</p> <p>Нелинейные модели, стандартная процедура линеаризации, опорное решение. Статистическая линеаризация.</p>	[1,3,4,15]
4	8	<p><b>Простейшие вычислительные методы в научных и инженерных расчетах.</b> Численные методы. Основы теории погрешностей. Численные методы решения скалярных уравнений. Численные методы решения систем линейных и нелинейных уравнений. Аппроксимация функции. Про Интерполирование функций. Численное дифференцирование. Численное</p>	[1,3,5,16]

		интегрирование.	
5	10	<b>Численные методы решения дифференциальных уравнений.</b> Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Численные методы решения систем уравнений в частных производных. Примеры приближенных решений интегральных уравнений. Метод Галёркина. Метод конечных разностей. Сеточные методы. Метод прогонки.	[1,2,4,17]
6	6	<b>Введение в имитационное моделирование.</b> Имитационное моделирование. Метод Монте-Карло. Моделирование случайных величин. Псевдослучайные числа и процедуры их машинной генерации. Проверка качества последовательности псевдослучайных чисел. Методы генерации случайных воздействий – величин, последовательностей, процессов, потоков и полей. Алгоритмы метода Монте-Карло. Эволюция содержания терминов «имитация», «имитационная модель» и их современное понимание.	[1,4,5,18]
7	6	<b>Элементы качественной теории исследования динамических систем.</b> Понятие динамической системы. Качественная (топологическая) структура траекторий системы в пространстве состояний. Автономная динамическая система на плоскости. Качественная структура окрестности состояния равновесия. Предельные траектории, устойчивые и неустойчивые циклы. Грубые и негрубые системы. Бифуркации. Понятие грубой системы. Топологическая инвариантность фазовых портретов. Примеры. Негрубые системы. Пространство параметров. Негрубые области и бифуркационные пленки.	[2,3,6,19]
8	6	<b>Универсальность математических моделей.</b> Динамика скопления амёб. Модель «хищник-жертва». Построение содержательной модели. Приближения модели. Постулаты и уравнения модели. Общая математическая модель и ее коррекция. Некоторые результаты исследования математической модели.	[1,2,7,20]

		Диффузные процессы и дифференциальные уравнения Колмогорова– Фоккера – Планка. Марковские процессы, вывод прямого и обратного уравнений Колмогорова. Понятия открытой системы и самоорганизации. Фракталы. Клеточные автоматы.	
9	6	<b>Методы математической оптимизации.</b> Параметры и факторы оптимизации. Методы нахождения оптимума. Воспроизводимость и рандомизация опытов. Экспериментально–статистические модели. Полный факторный эксперимент. Дробный факторный эксперимент. Метод крутого восхождения. Симплексный метод. Контурно–графический анализ. Линейное программирование. Симплекс-метод. Нелинейное программирование.	[1,2,8,21]

### Темы рефератов (выступлений):

1. Гармонический осциллятор.
2. Модель «хищник-жертва».
3. Системы, стимулы, реакции. Основные определения.
4. Анализ динамических систем.
5. Основные числовые характеристики случайных процессов.
6. Основные модели, используемые в системном анализе.
7. Сети Петри, раскрашенные сети Петри.
8. Процессы «гибели-размножения».
9. Цепи Маркова. Определение, классификация, свойства.
10. Метод Гаусса-Жордана для методы решения систем линейных алгебраических уравнений.
11. Метод Зейделя для методы решения систем линейных алгебраических уравнений.
12. Решение нелинейных уравнений и систем методом отделение корней.
13. Решение нелинейных уравнений и систем методом итераций для системы двух нелинейных уравнений.
14. Интегральное среднеквадратичное приближение функций ортогональными многочленами.
15. Среднеквадратичное приближение функций алгебраическими многочленами Лежандра.
16. Точечное среднеквадратичное приближение функций ортогональными многочленами ортогональные многочлены Чебышева.
17. Интерполирование функций кубическими сплайнами.

18. Численное дифференцирование: использование интерполяционных многочленов Лагранжа для формул численного дифференцирования.
19. Численное интегрирование: квадратурные формулы Гаусса.
20. Численное интегрирование: приближенное вычисление несобственных интегралов с бесконечными пределами.
21. Численные методы поиска минимума функции нескольких переменных: применение методов спуска к решению систем нелинейных уравнений.
22. Линейное программирование: геометрический метод решения задач линейного программирования.
23. Численные методы безусловной оптимизации функции одной переменной: схема сужения промежутка унимодальности функции.

### **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РЕФЕРАТА.**

Реферат (от лат. *refereo* - докладываю, сообщаю) — краткое изложение научной проблемы, результатов научного исследования, содержащихся в одном или нескольких произведениях идей и т. п.

Реферат является научной работой, поскольку содержит в себе элементы научного исследования. В связи с этим к нему должны предъявляться требования по оформлению, как к научной работе. Эти требования регламентируются государственными стандартами, в частности:

- ГОСТ 7.32-2001 «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».
- ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».
- ГОСТ 7.80-2000 «Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления».
- ГОСТ 7.82—2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов».

#### *Формат*

Реферат должен быть выполнен на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм) через полтора интервала. Цвет шрифта должен быть черным. Гарнитура шрифта основного текста — «Times New Roman» или аналогичная, кегль (размер) от 12 до 14 пунктов. Размеры полей (не менее): правое — 10 мм, верхнее, нижнее и левое — 20 мм. Формат абзаца: полное выравнивание («по ширине»), отступ — 8–12 мм, одинаковый по всему тексту.

Заголовки разделов и подразделов следует печатать на отдельной строке с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Выравнивание по центру или по левому краю. Отбивка: перед заголовком — 12 пунктов, после — 6 пунктов.

#### *Нумерация*

Страницы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту (титальный лист включают в общую нумерацию). Номер страницы проставляют в центре нижней части листа без точки. На титульном листе номер не проставляют.

### *Титульный лист*

В верхней части титульного листа пишется, в какой организации выполняется работа, далее буквами увеличенного кегля указывается тип («Реферат») и тема работы, ниже в правой половине листа — информация, кто выполнил и кто проверяет работу. В центре нижней части титульного листа пишется город и год выполнения.

### *Библиография*

Библиографические ссылки в тексте реферата оформляются в виде номера источника в квадратных скобках.

Библиографическое описание (в списке источников) состоит из следующих элементов:

- основного заглавия;
- обозначения материала, заключенного в квадратные скобки;
- сведений, относящихся к заглавию, отделенных двоеточием;
- сведений об ответственности, отделенных наклонной чертой;
- при ссылке на статью из сборника или периодического издания — сведений о документе, в котором помещена составная часть, отделенных двумя наклонными чертами с пробелами до и после них;
- места издания, отделенного точкой и тире;
- имени издателя, отделенного двоеточием;
- даты издания, отделенной запятой.

*Виды, график контроля СРС, (по решению кафедры УМКС/УМКН).*

## **10. Расчетно-графическая работа**

Не предусмотрена учебным планом.

## **11. Курсовая работа**

1. Решение систем линейных уравнений  $[A]x = b$ ,  $[A]$  - квадратная матрица порядка  $n$ .

Задание:

Разработать программу решения системы линейных алгебраических уравнений одним из перечисленных методов:

- а) Метод исключения Гаусса с частичным выбором ведущего элемента
- б) Метод Холесского (для положительно определенных матриц);
- в) Итерационный метод Гаусса – Зейделя.
- д) Метод сопряженных градиентов.

2. Решение нелинейного уравнения  $f(x) = 0$ , где  $f(x)$  - действительная функция.

Задание: Разработать программу решения нелинейного уравнения одним из методов:

- а) Метод деления отрезка пополам.
- б) Метод золотого сечения.

- в) Метод секущих
- г) Метод Ньютона-Рафсона
- д) Метод Мюллера.

### 3. Решение системы нелинейных уравнений.

Задание: Разработать программу решения системы нелинейных уравнений

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0,$$

$$f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0,$$

.....

$$f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0,$$

методом Ньютона.

### 4. Интерполяция данных.

Действительная функция  $f(x)$  задана на отрезке  $[a, b]$  таблицей значений

$x_i$	$x_0 = a$	$x_1$	$x_2$	...	$x_n = b$
$f(x_i)$	$f(x_0)$	$f(x_1)$	$f(x_1)$	...	$f(x_n)$

Задание: Разработать программу вычисления значения функции на отрезке с использованием одного из методов интерполяции данных:

- а) Интерполяционный полином Лагранжа.
- б) Кусочно-полиномиальная (кубическая) интерполяция.
- в) Интерполяция кубическими сплайнами.

### 5. Численные квадратуры.

5.1 Задание: разработать программу вычисления собственного интеграла

$$\int_a^b f(x) dx \text{ одним из следующих методов:}$$

- а) Формула трапеций
- б) Метод Симпсона
- в) Квадратурные формулы Гаусса порядка 2, 3, 4 и 5.

5.2. Задание: Разработать программу вычисления многомерного интеграла

$$\iint_{\Omega} f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n$$

методом Монте-Карло. Здесь  $\Omega$  - ограниченная замкнутая область в пространстве  $R^n$ .

### 6. Аппроксимация данных

Задача линейного метода наименьших квадратов формулируется следующим образом:

Пусть заданы  $N$  точек  $\{(x_i, y_i)\}, i=1, 2, \dots, N$  и система линейно независимых функций  $\{f_i(x)\}, i=1, 2, \dots, M$ . Требуется найти  $M$  таких коэффициентов  $c_i, i=1, 2, \dots, M$ , чтобы функция

$$f(x) = \sum_{i=1}^M c_i f_i(x)$$

минимизировала сумму квадратов ошибок

$$\sum_{k=1}^M [f(x_k) - y_k]^2.$$

Задание: Разработать программу для решения задачи линейного метода наименьших квадратов.

7. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений.

7.1. Задание: разработать программу решения задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты 4-го порядка.

7.2. Задание: Разработать программу решения методом стрельбы краевой задачи

$$-\frac{d}{dx} \left( p(x) \frac{df}{dx} \right) + q(x) f(x) = r(x),$$

$$f(0) = 0, \quad \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=1} = 1,$$

где  $p(x), q(x)$  - положительные непрерывные функции,  $r(x)$  - непрерывная функция на отрезке  $[0,1]$ .

При выполнении предложенных выше заданий, студент должен написать и отладить на одном из алгоритмических языков: С, Паскаль, Фортран программу, реализующую соответствующий численный метод, провести решение тестовых примеров. Текст программы должен быть документирован и снабжен комментариями. Программа должна быть «универсальной», что значит следующее. Например, если речь идет о решении нелинейного уравнения  $f(x) = 0$ , то в качестве одного из аргументов программного модуля должна выступать ссылка на функцию, вычисляющую значение  $f(x)$  по заданному значению  $x$ .

### **Требования к курсовой работе:**

1. Отчет должен быть подготовлен средствами текстового процессора Microsoft Word.

2. В отчете в разделе приложений должны быть представлены страницы программных продуктов, содержащие алгоритмы вычислений и результаты вычислений.



3. В отчете должны присутствовать иллюстрирующие графики.
4. Вычисления должны сопровождаться грамотными комментариями, позволяющими оценивать правильность работы.
5. Необходимо произвести литературный поиск. Найденные по теме литературные источники следует включить в список литературы, а в разделах поместить соответствующие выписки с указанием ссылок на источники и номеров страниц. Вес этого раздела в итоговой оценке курсовой работы весьма значителен.
6. В разделе «Результаты вычислений» должны быть пошагово приведены числовые результаты.  
Рекомендуемая литература: [1-6,16].

## **12. Курсовой проект**

Не предусмотрен учебным планом.

## **13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

Критерии сформированности компетенций:

При проверке знаний по компетенции в целом, положительное решение о сформированности компетенции принимается в случае правильного ответа не менее чем 30 % вопросов теста и/или ответа на поставленные на экзамене вопросы в соответствии с указанными выше уровнями освоения компетенций, при условии выполнения полного комплекса практических работ по дисциплине, отчета по каждой и выполнения заданий на самостоятельную работу студента.

При проверке умения в соответствии с уровнями освоения компетенции студенту предоставляется возможность после выполнения практических работ по дисциплине и заданий на самостоятельную работу, предоставления отчёта по практическим работам в соответствии с требованиями, представленными в методических указаниях по практическим работам, продемонстрировать действия по использованию методов оптимизации в объёме уровней освоения.

При проверке владения навыковыми составляющими компетенций студенту предоставляется возможность решения профессиональных задач в соответствии с уровнями их освоения, с оценкой полноты предлагаемых для решения методов, оптимальности выбора метода и средств её решения, устойчивости демонстрируемых способностей по выполнению действий в соответствии с уровнями освоения компетенции.

## **Вопросы для зачета**

Не предусмотрен учебным планом

## Вопросы для экзамена

1. Дать понятие объекта моделирования.
2. Понятие модели. Свойства модели: неполнота, адекватность, простота (или сложность), потенциальность.
3. Локализация объекта.
4. Внутренние параметры модели.
5. Идеальное моделирование: интуитивное, научное, знаковое.
6. Материальное моделирование: натурное, аналоговое.
7. Основные понятия теории моделирования.
8. Цели и задачи моделирования.
9. Материальные (физические) и идеальные модели.
10. Имитационное моделирование как специфический вид компьютерного моделирования.
11. Этапы построения моделей.
12. Классификация математических моделей в зависимости от сложности объекта.
13. Классификация математических моделей в зависимости от оператора модели.
14. Классификация математических моделей в зависимости от параметров модели.
15. Классификация математических моделей в зависимости от целей моделирования.
16. Классификация математических моделей в зависимости от методов реализации.
17. Концептуальная и математическая постановка задачи при проведении математического моделирования.
18. Основные характеристики математической модели.
19. Качественный анализ и проверка корректности модели при проведении математического моделирования.
20. Выбор и обоснование методов решения задач при проведении математического моделирования.
21. Проверка адекватности модели при проведении математического моделирования.
22. Классификация погрешностей вычислений.
23. Метод Гаусса для методы решения систем линейных алгебраических уравнений.
24. Метод прогонки для методы решения систем линейных алгебраических уравнений.
25. Метод простых итераций для методы решения систем линейных алгебраических уравнений.
26. Решение нелинейных уравнений и систем методом деления отрезка пополам.
27. Решение нелинейных уравнений и систем методом простой итерации.

28. Решение нелинейных уравнений и систем методом Ньютона (касательных).
29. Среднеквадратичное приближение функций тригонометрическими многочленами.
30. Эмпирические формулы: метод средних.
31. Эмпирические формулы: метод наименьших квадратов.
32. Эмпирические формулы: выравнивание экспериментальных данных.
33. Интерполяционная формула Лагранжа.
34. Интерполяционная формула Ньютона.
35. Численное дифференцирование: вычисление производной по ее определению.
36. Численное дифференцирование: конечно-разностные аппроксимации производных.
37. Численное интегрирование: квадратурные формулы прямоугольников.
38. Численное интегрирование: трапеций и Симпсона.
39. Численное интегрирование: приближенное вычисление несобственных интегралов от функций с бесконечным разрывом.
40. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений: метод Эйлера.
41. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений: методы Эйлера-Коши и Рунге-Кутты.
42. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений: численное решение систем дифференциальных уравнений первого порядка.
43. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений: численное решение дифференциальных уравнений и систем высших порядков.
44. Численные методы безусловной оптимизации функции одной переменной: метод Ньютона.
45. Численные методы безусловной оптимизации функции одной переменной : метод половинного деления.
46. Численные методы безусловной оптимизации функции одной переменной : метод золотого сечения.
47. Численные методы безусловной оптимизации функции одной переменной : метод Фибоначчи.
48. Численные методы безусловной оптимизации функции одной переменной : метод сканирования.
49. Численные методы поиска минимума функции нескольких переменных: общая схема методов спуска.
50. Численные методы поиска минимума функции нескольких переменных: метод покоординатного спуска.
51. Численные методы поиска минимума функции нескольких переменных: метод скорейшего спуска.

52. Линейное программирование: симплекс-метод решения задач линейного программирования.

### Тестовые задания по дисциплине

- 1) Оптимизационная модель содержит:
  - а.) переменные решения
  - б.) целевую функцию
  - в.) и то и другое
- 2) Оптимизационная модель:
  - а.) предлагает наилучшее решение в математическом смысле
  - б.) предлагает наилучшее решение с учётом ограничений модели
  - в.) может служить средство оценки различных вариантов возможных решений
  - г.) всё вышеперечисленное
- 3) Пусть  $f$ - функция одной переменной. Неравенство  $f''(x) > 0$  :
  - а.) является необходимым условием локального минимума
  - б.) является достаточным условием локального минимума
  - в.) является достаточным условием локального максимума
  - г.) ни одно из вышеперечисленных утверждений не верно
- 4) Пусть  $f$  - функция одной переменной. Равенство  $f'(x) = 0$  :
  - а.) является необходимым условием, чтобы точка  $x$  была точкой локального максимума
  - б.) является необходимым условием, чтобы точка  $x$  была точкой локального минимума
  - в.) является необходимым условием, чтобы точка  $x$  была точкой глобального минимума
- 5) Точка  $x$  , для которой  $f'(x) = 0$  и  $f''(x) > 0$  является:
  - а.) точкой локального максимума

б.) точкой локального минимума

в.) оба утверждения верны

г.) верны все вышеперечисленные утверждения

б) Укажите необходимые и достаточные условия минимума функции:

а.)  $f'(x) = 0$ ,  $f''(x) \geq 0$

б.)  $f'(x) = 0$ ,  $f''(x) \leq 0$

а.)  $f'(x) = 0$ ,  $f''(x) = 0$

7) Укажите необходимые и достаточные условия максимума функции:

а.)  $f'(x) = 0$ ,  $f''(x) \geq 0$

б.)  $f'(x) = 0$ ,  $f''(x) \leq 0$

а.)  $f'(x) = 0$ ,  $f''(x) = 0$

8) Какие критерии используются для проверки унимодальности функции?

а.)  $f''(x) \geq 0$

б.)  $f''(x) \leq 0$

в.)  $f''(x) = 0$

9) Укажите метод, использующий свойство сопряжённых градиентов:

а.) метод наискорейшего спуска

б.) градиентный метод

в.) метод Флетчера-Ривса

10) Чем отличаются метод «золотого сечения» и Фибоначчи:

а.) в методе «золотого сечения» в начале вычислений требуется знать интервал, на котором будет вычисляться функция, а в методе Фибоначчи не требуется.

б.) в методе «золотого сечения» не требуется знать количество вычислений функции, определяемое в начале, в отличие от метода Фибоначчи.

в.) в методе «золотого сечения» требуется знать количество вычислений функции.

г.) в методе «золотого сечения» не используется правило симметрии.

11) Если существует производная  $f^n(x)$  и если  $f'(x) = f''(x) = \dots = f^n(x) = 0$ , то функция  $f(x)$  при нечётном  $n$  имеет в точке  $x$ :

а.) максимум

б.) минимум

в.) точку перегиба

12) Укажите какие модели транспортной задачи являются открытыми:

а) суммарный объем запасов совпадает с суммарным объемом потребностей

б) суммарный объем запасов больше суммарного объема потребностей

в) суммарный объем меньше суммарного объема потребностей

13) Пусть в точке  $x$  градиент функции  $\nabla f(x) = 0$ . Что можно сказать о точке  $x$ , если матрица Гессе отрицательно определена:

а.) в точке  $x$  достигается минимум функции

б.) точка  $x$  является точкой перегиба функции

в.) в точке  $x$  достигается максимум функции

14) Какое из выражений является необходимым условием минимума для функции одной переменной?

а.)  $f'(x) = 0$

б.)  $f''(x) = 0$

в.)  $f(x+h) - f(x) > 0$

15) Какие методы относятся к методам одномерной оптимизации?

а.) метод «золотого сечения»

б.) метод хорд

в.) метод Пауэла

г.) метод Фибоначчи

д.) метод Хука-Дживса

е.) метод деления интервала пополам

16) Укажите методы нулевого порядка:

а.) метод градиентного спуска

б.) метод покоординатного спуска

в.) метод Хука-Дживса

г.) симплексный метод

17) Какое из выражений является достаточным условием минимума для функции  $f(x)$ , являющейся функцией  $n$  переменных:

а.) градиент  $\nabla f(x) = 0$

б.)  $G[x]$  - матрица чисел отрицательно определена

б.)  $G[x]$  - матрица чисел положительно определена

в.) градиент  $\nabla f(x_0) = 0$

18) Транспортная задача является замкнутой. Выберите ситуацию, возможную при данном условии:

а.) существует оптимальное решение задачи

б.) оптимального решения задачи не существует

в.) задача не имеет допустимого решения

19) К задаче линейного программирования поставлена двойственная задача. Укажите ситуацию, возможную при данном условии:

а) оптимальное значение целевой функции прямой задачи больше, чем оптимальное значение целевой функции двойственной задачи

б) оптимальные планы прямой и двойственной задач различны

в) оптимальные значения целевых функций, планы прямой и двойственной задач достигаются в одной и той же точке

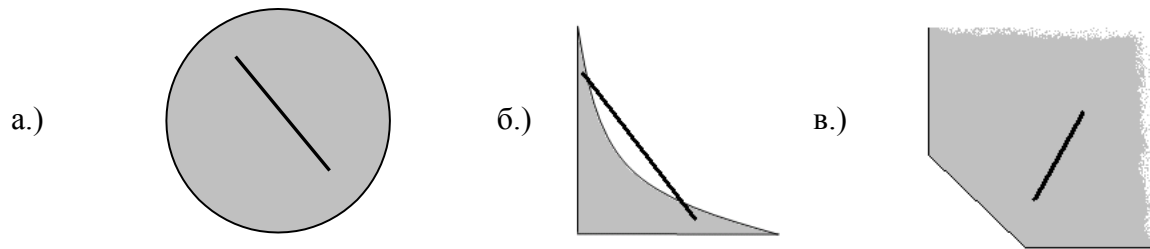
20) Задача линейного программирования не имеет допустимых решений. Выберите ситуацию, возможную при данном условии:

а.) в задаче отсутствуют ограничения

б.) система ограничений задачи несовместна

в.) целевая функция неограниченна на допустимой области

21) Требуется выбрать выпуклые множества среди изображенных на рисунке:



22) Укажите методы порядка:

а.) метод Хука-Дживса

б.) метод Ньютона

в.) метод сопряжённых градиентов

г.) метод Ньютона-Рафсона

23) Что объединяет метод наискорейшего спуска и метод Пауэла

а.) оба используют метод квадратичной интерполяции;

б.) оба находят минимум функции  $n$ -переменных

в.) оба используют свойство направления градиента

24) Укажите какая модель транспортной задачи является закрытой.

а.) суммарный объем запасов совпадает с суммарным объемом потребностей

б.) суммарный объем запасов больше суммарного объема потребностей

в.) суммарный объем запасов меньше суммарного объема потребностей

25) К методам поиска возможных вариантов на дереве решений можно отнести:

а.) метод «поиска в ширину»

б.) метод «поиска в глубину»

в.) метод «поиска в высоту»

г.) метод ветвей и границ

д.) метод исключения вершин



26) Укажите, какая задача линейного программирования является противоречивой:

а.) областью решений системы неравенств является замкнутая область

б.) областью решения системы неравенств является неограниченная область

в.) областью решения системы неравенств является пустая область

27) Укажите, по каким условиям можно судить об унимодальности функции:

а) функция на отрезке имеет только один экстремум

б) функция на отрезке имеет несколько экстремумов

в) функция достигает экстремума на одном из концов отрезка

28) Какое направление указывает градиент функции  $\nabla f(x)$ ?

а.) направление наибольшего убывания функции

б.) направление наибольшего возрастания функции

в.) направление касательной к функции

29) Укажите, что позволяет определить критерий Сильвестра?

а.) положительную определенность матрицы Гессе

б.) отрицательную определенность матрицы Гессе

в.) собственные значения матрицы Гессе

30) Укажите, какие методы используются для построения первоначальных опорных планов транспортной задачи:

а.) метод потенциалов

б.) метод северо-западного угла

в.) метод минимальной стоимости

г.) метод двойного предпочтения

31) Задача линейного программирования имеет канонический вид. Множество допустимых решений непустое и ограничено. Выберите ситуацию при данном условии:

а.) оптимального решения задачи не существует

б.) дополнительные переменные составляют базис

в.) задача не имеет допустимого решения

32) Что такое задача линейного программирования?

а.) это задача, у которой целевая функция и ограничения имеют линейную независимость

б.) это задача, решение которой находят строго в определенном порядке, без разветвлений (т.е по линейной структуре)

в.) это задача, все переменные которой линейно зависимы между собой.

33) Укажите, какие переменные из перечисленных являются опорными:

а.) прямая пересекает область допустимых значений

б.) прямая имеет одну общую точку с областью допустимых значений

в.) прямая проходит через одну из сторон области допустимых значений

34) В методе барьерных функций функция штрафа должна:

а.) увеличить значение целевой функции на границе области

б.) неограниченно возрастать на границе области

в.) игнорировать подход к границе области

35) Какие переменные можно принять в качестве базисных в задаче линейного программирования:

а) линейно-зависимые вектора

б) линейно-независимые вектора

в) искусственные переменные

36) Когда в задаче линейного программирования вводится искусственный базис?

а.) когда в системе ограничений отсутствуют линейно-независимые векторы

б.) когда в системе ограничений можно выделить линейно-независимые векторы

в.) когда в системе ограничений нельзя выделить единичные векторы

37) Укажите, какие прямые в задаче линейного программирования являются опорными:

- а.) прямая пересекает область
- б.) прямая имеет с областью одну общую точку
- в.) прямая проходит через одну из сторон области

38) Если к задаче линейного программирования поставлена двойственная задача, и одна из задач двойственной пары имеет оптимальное решение, то:

- а.) максимальное значение целевой функции исходной задачи и минимальное значение целевой функции двойственной задачи численно равны
- б.) максимальное значение целевой функции исходной задачи и минимальное значение целевой функции двойственной задачи не равны
- в.) максимальное значение целевой функции исходной задачи и минимальное значение целевой функции двойственной задачи равны нулю

39) Чем отличаются метод Ньютона и Ньютона-Рафсона?

- а.) выбором шага
- б.) выбором вектора градиента
- в.) выбором матрицы Гессе

40) Какая величина в симплексном методе нелинейного программирования исключается на каждой итерации?

- а.) вершина с наименьшим значением целевой функции
- б.) вершина с наибольшим значением целевой функции
- в.) вершина центра тяжести

41) Задана целевая функция трех переменных  $f(x_1, x_2, x_3)$ . Сколько в методе сопряженных градиентов требуется выполнить итерации целевой функции?

- а.)  $N$
- б.) 3
- в.) 2

42) Как в методе покоординатного спуска осуществляется спуск по координатам?

- а.) по ломаной, состоящей из отрезков прямых, параллельных координатным осям

б.) по лучу, направленному по антиградиенту функции

в.) по нормали к линии уровня

43) Какая целевая функция называется мультимодальной?

а.) которая имеет один экстремум

б.) которая имеет более одного экстремума

в.) которая не имеет экстремумов

44) Какая целевая функция называется мономодальной?

а.) функция, которая имеет один экстремум

б.) функция, которая имеет более одного экстремума

в.) функция, которая не имеет экстремума

45) Как в методе градиентного спуска осуществляется спуск по координатам?

а.) по ломаной, состоящей из отрезков прямых, параллельных координатным осям

б.) по лучу, направленному по антиградиенту функции

в.) по нормали к линии уровня

46) Ограничение сужает диапазон значений, которые:

а.) может принимать целевая функция

б.) могут принимать переменные

в.) ни одно из вышеуказанных

г.) верны варианты «а» и «б»

47) Требование неотрицательности включается в модель ЛП, поскольку:

а.) такую модель легче решать

б.) такая модель больше соответствует реальной ситуации

в.) ни первое, ни второе

г.) верны варианты «а» и «б»

48) Графический метод решения задачи ЛП полезен тем, что:

а.) предлагает общий способ решения задач ЛП

б.) предлагает геометрическую интерпретацию модели

в.) верны варианты «а» и «б»

49) Неограниченная допустимая область:

а.) получается в результате неверной формулировки задачи

б.) означает, что целевая функция является неограниченной

в.) ни одно из этих высказываний не верно

г.) верны оба высказывания

50) В модели целочисленного линейного программирования:

а.) за исключением ограничений целочисленности, все функции ограничений линейны

б.) все переменные решения должны быть целыми

в.) все переменные решения должны быть неотрицательными

г.) верны варианты «а» и «б»

51) Нахождение наименьшего значения функции  $f(x)$  на множестве  $D(f)$  и точек, в которых это значение достигается называется:

а) минимизация; б) максимизация; в) одномерная минимизация; г) многокритериальная оптимизация.

52) Методы минимизации функции одного переменного, в которых используют значения функции в точках рассматриваемого промежутка и не используют значения ее производных, называют:

а) методами оптимизации; б) методами минимизации; в) методами прямого поиска; г) методами пассивного поиска; д) методами последовательного поиска.

53) Методы поиска, в которых все точки, в которых будут вычислены значения функции, выбирают последовательно, причем для выбора последующей точки используют значения функции, вычисленные в предыдущих точках, называют:

а) методами оптимизации; б) методами минимизации; в) методами прямого поиска; г) методами пассивного поиска; д) методами последовательного поиска.

54) Методы поиска, в которых все точки, в которых будут вычислены значения функции, выбирают заранее, называют:

а) методами оптимизации; б) методами минимизации; в) методами прямого поиска; г) методами пассивного поиска; д) методами последовательного поиска.

55) Интервал или отрезок, в котором гарантированно находится точка, соответствующая значению оптимальному значению функции  $f$ , называется:

а) рабочим интервалом; б) интервалом неопределенности; в) интервалом допустимых значений; г) областью допустимых значений; д) областью задания функции.

56) Если минимизируемая функция  $f(x)$  не является унимодальной на отрезке  $[a, b]$ , такую функцию называют ... на этом отрезке:

а) мультимодальной; б) мономодальной; в) модальной; г) многомодальной; д) непрерывной.

57) К методам последовательного поиска относятся:

а) метод дихотомии; б) метод исключения отрезка; в) метод «золотого сечения»; г) метод Фибоначчи; д) метод Гаусса.

58) Оценочная функция в виде суммы длин ребер, уже включенных в формируемый маршрут, называется:

а) нижняя граница; б) критерий оценки; в) целевая функция; г) верхняя граница; д) ограничение задачи.

59) Точка функции  $f(X)$  определяющая либо ее максимальное, либо минимальное значение, называется:

а) седловая точка; б) точка перегиба; в) экстремальная точка; г) точка разрыва; д) точка бифуркации.

60) Точка, в которой градиент функции равен нулю, но не являющаяся в то же время точкой экстремума называется:

а) точкой максимума; б) точкой перегиба; в) точкой минимума; г) седловой точкой; д) точка бифуркации.

б1) К стационарным точкам функции относятся:

а) седловая точка; б) точка перегиба; в) экстремальная точка; г) точка разрыва; д) точка бифуркации.

## 14. Образовательные технологии

Для успешного освоения дисциплины в ходе изложения материала используются лекции на основе мультимедийных презентаций. При изложении материала лектор обсуждает проблемные вопросы, направленные на практическую и самостоятельную деятельность студента. Большое внимание на лекционных и практических занятиях уделяется решению практических задач из курса «Математическое моделирование сложных систем».

Для развития самостоятельной активности в изучении материала студентам предлагается использование интернет-ресурсов (электронных каталогов, специализированных порталов и сайтов), подготовка к участию в дискуссиях по предлагаемым темам курса, выступление с рефератами. По всем практическим и самостоятельным работам студентам предлагается индивидуальное задание.

При защите рефератов будет использоваться технология рецензирования «1-2-3»: студент-рецензент по рецензируемому реферату должен сделать одно замечание, два положительных момента, три предложения по улучшению.

При решении задач по программированию студенты делятся на пары. Члены каждой микрогруппы придумывают тесты для проверки задачи коллеги, а также проверяют решения друг друга.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, составляет 60% аудиторных занятий.

При обучении лиц с ограниченными возможностями и инвалидов используются подходы, способствующие созданию безбарьерной образовательной среды: технологии дифференциации и индивидуализации обучения, сопровождение тьюторами в образовательном пространстве; увеличивается время на самостоятельное освоение материала.

Для достижения планируемых результатов также используются следующие образовательные технологии:

1. Дистанционные на основе информационно-образовательной среды СГТУ имени Гагарина Ю.А., основе реализации возможности самостоятельного изучения материалов по всем видам образовательной

деятельности в соответствии с учебным планом, в том числе до прохождения занятий, текущего дистанционного консультирования студентов.

2. Развивающее проблемно-ориентированное обучение, направленное на формирование и развитие проблемного мышления, мыслительной активности, способности видеть и формулировать проблемы, выбирать способы и средства для их решения на основе рассмотрения примеров из практической деятельности преподавателей, в области научно-практических исследований.

3. Личностно ориентированное обучение, обеспечивающее в ходе учебного процесса учет различных способностей обучаемых, создание необходимых условий для развития их индивидуальных способностей, развитие активности личности в учебном процессе в рамках самостоятельной работы.

## **15. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### ***Основная литература.***

1. Маликов Р. Ф. Основы математического моделирования [Электронный ресурс]: учебное пособие / Маликов Р. Ф. - Москва : Горячая линия - Телеком, 2010. - 368 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12015>. - ЭБС «IPRbooks», по паролю.

2. Ибрагимов Н. Х. Практический курс дифференциальных уравнений и математического моделирования. Классические и новые методы. Нелинейные математические модели. Симметрия и принципы инвариантности [Текст] / Ибрагимов Н. Х. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 332 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/24600>. - ЭБС «IPRbooks», по паролю.

3. Методы оптимизации [Электронный ресурс]: учебное пособие/ О.А. Васильева [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 96 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26859>

4. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. - М. Физматлит, 2009.

5. Березина Н. А. Высшая математика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Березина Н. А. – Электрон. текстовые данные. - Саратов: Научная книга, 2012. - 159 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/8233>. - ЭБС «IPRbooks», по паролю.

### ***Дополнительные издания.***

6. Токарев В.В. Методы оптимальных решений. Том 2. Многокритериальность. Динамика. Неопределенность [Электронный ресурс]/ Токарев В.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012.— 415 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/25011>



7. Золотарев А.А. Методы оптимизации распределительных процессов [Электронный ресурс]/ Золотарев А.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Инфра-Инженерия, 2014.— 160 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23315>

8. Махмутов М. М. Лекции по численным методам [Электронный ресурс] / Махмутов М. М. – Электрон. текстовые данные. - Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2007 - 237 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16558> . – ЭБС «IPRbooks», по паролю.

9. Самарский А. А. Математическое моделирование [Электронный ресурс]: идеи. Методы. Примеры / Самарский А. А., Михайлов А. П. – Электрон. текстовые данные. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 320 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/24708> .—ЭБС «IPRbooks», по паролю.

10. Пантелеев А.В. Методы оптимизации [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Пантелеев А.В., Летова Т.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Логос, 2011.— 424 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/9093>

11. Аттетков А.В. Введение в методы оптимизации [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Аттетков А.В., Зарубин В.С., Канатников А.Н.— Электрон. текстовые данные.— М.: Финансы и статистика, 2014.— 272 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18794>

#### ***Периодические издания***

12. Прикладная информатика – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/11770.html>

13. Вестник Российского нового университета. Серия Управление, вычислительная техника и информатика – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26390.html>

14. Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/8348.html>

15. Журнал вычислительной математики и математической физики : РАН. - М. : Наука. – (2010-2015). Выходит ежемесячно.- ISSN 0044-4669.

16. Известия вузов. Математика: науч.-теорет. журн. - Казань : Казанский гос. ун-т им. В. И. Ульянова-Ленина. – (2010-2015). Выходит ежемесячно. - ISSN 0021-3446.

17. Прикладная математика и механика : РАН. - М. : Наука. – (2010-2015). Выходит раз в два месяца. - ISSN 0032-8235.

18. Математическое моделирование: науч.-техн. жур. / учредитель Рос. акад. наук, Ин-т мат. моделирования Рос. акад. наук. - М. – (2010-2015). 12 вып. в год. - ISSN 0234-0879.

19. Известия вузов. Электроника: науч.-техн. журн. / учредитель Нац. исслед. ун-т Моск. гос. ин-т электрон. техники. - М. – (2008-2012). 6 вып. в год. - ISSN 1561-5405.

#### ***Интернет-ресурсы***

20. Основные Российские образовательные порталы  
www.edu.ru - Федеральный портал «Российское образование»  
www.informika.ru - Государственный научно-исследовательский институт информационных технологий и телекоммуникаций
21. Интернет - энциклопедия Wikipedia: <http://ru.wikipedia.org>
22. «Программирование в среде Visual Studio.Net: разработка приложений на языке С#» (2010-2015г.г.)  
<http://school.sgu.ru/course/view.php?id=29>  
Учебный постоянно обновляемый ресурс для обучения программированию на языке С.
23. «Программирование на языке С++» (2010-2015г.г.)  
<http://course.sgu.ru/course/view.php?id=137>  
Учебный ресурс для обучения программированию на языке С++.
24. Информационно-справочный портал корпорации Microsoft  
<http://msdn.microsoft.com/ru-ru/default.aspx>  
Справочный материал по особенностям работы с продуктам Microsoft (Microsoft Office, Visual Studio).
25. Образовательном портале Виртуальной академии Microsoft  
<http://www.microsoftvirtualacademy.com/>  
Справочный материал по особенностям работы с продуктами Microsoft (Microsoft Office, Visual Studio).
26. <http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам Российской Академии Наук.
27. <http://mathnet.ru> – общероссийский математический портал.
28. <http://lib.mexmat.ru> – электронная библиотека механико-математического факультета МГУ.
29. <http://elibrary.ru> – научная электронная библиотека.

### *Материалы ИОС*

[https://portal3.sstu.ru/Facult/INETM/AUM/15.04.04\\_1/%D0%9C.1.1.4\\_1/default.aspx](https://portal3.sstu.ru/Facult/INETM/AUM/15.04.04_1/%D0%9C.1.1.4_1/default.aspx)

## **6. Материально-техническое обеспечение**

Учебные аудитории для чтения лекций, проведения практических занятий: аудитории, оборудованные компьютерами с соответствующим программным обеспечением. Программные и технические средства, используемые при чтении лекций: персональный компьютер, проектор, Microsoft Power Point 2007.

Помещения для самостоятельной работы студентов: аудитории, оборудованные компьютерами с выходом в Интернет.

Информационное и учебно-методическое обеспечение: ЭБС «IPRbooks», электронная библиотека СГТУ им. Гагарина Ю.А., электронная информационно-образовательная среда СГТУ им. Гагарина Ю.А.