

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
Кафедра "Промышленная теплотехника"

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

*Б.1.3.2.2 «Математические методы экспериментальных исследований
в теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях»*

направления подготовки

13.03.01 - «Теплоэнергетика и теплотехника»

профиль «Энергообеспечение предприятий»

форма обучения - дневная

курс – 1

семестр – 1, 2

зачетных единиц – 2, 4

часов в неделю – 2, 4

всего часов – 216,

в том числе:

лекции – 42

коллоквиумы – 12

практические занятия – 54

лабораторные занятия – нет

самостоятельная работа – 108

зачет – 1 семестр

экзамен – 2 семестр

РГР – нет

курсовая работа – нет

курсовой проект – нет

1. Цели и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины: формирование у студентов основополагающих знаний и умений в области современных математических методов проведения численного и физического моделирования с целью анализа работы и дальнейшего совершенствования теплоэнергетического и теплотехнологического оборудования, развитие навыков и умения творческого использования основных численных методов решения практических инженерных задач.

Задачи изучения дисциплины: овладение теоретическими сведениями и практическими навыками построения расчётных методик и обобщённого решения на ЭВМ наиболее распространённых в теплотехнике задач.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо для усвоения данной дисциплины: «Физика», «Высшая математика», «Информатика».

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций: ПК-4, ОПК-1.

ПК-4 - способность к проведению экспериментов по заданной методике, обработке и анализу полученных результатов с привлечением соответствующего математического аппарата.

ОПК-1 - Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять её в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий.

Студент должен знать: основные методы обработки и анализа экспериментальных данных, построения расчётных уравнений для определения основных теплофизических свойств теплоносителей, методики определения погрешности натуральных экспериментов, оценки погрешности компьютерных вычислений

Студент должен уметь: самостоятельно определять теплофизические свойства теплоносителей на основе справочных данных, представленных как в традиционной, так и в электронной форме; применять методы предсказания и определения

физических свойств веществ по неполным или косвенным данным; приобрести практический навык составления программ расчета теплофизических свойств теплоносителей, решения базовых задач линейной алгебры, поиска экстремума.

Студент должен владеть: основными методами обработки и статистического анализа экспериментальных и справочных (табличных) данных с целью построения обобщённых зависимостей с использованием ЭВМ; методами поиска экстремума целевой функции n переменных и их реализацией на ЭВМ.

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

№ модуля	№ недели	№ темы	Наименование темы	Часы					
				Всего	Лекции	Коллоквиумы	Лаб. занятия	Практ. занятия	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 семестр									
1	1, 3, 5	1	Введение. Общая характеристика теплотехнологических процессов и аппаратов, методов их исследования	20	4	-	-	6	10
	7, 9, 11	2	Итерационные методы при численном эксперименте и их реализация на ЭВМ	32	4	2	-	12	14
2	13, 15, 17	3	Теплотехническая характеристика наиболее распространенных теплоносителей и методы расчёта их теплофизических свойств	20	6	2	-	-	12
2 семестр									
3	19-22	4	Методы интерполяции справочных данных и аппроксимации экспериментальных данных	34	6	2	-	10	16
4	23-28	5	Вычислительный эксперимент при поиске оптимума	69	10	3	-	22	34
5	29-34	6	Методы статистической обработки и анализа экспериментальных данных	31	10	3	-	4	14
	35		Заключение	10	2	-	-	-	8
Итого:				216	42	12	-	54	108

5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	4	1.	Общая характеристика теплотехнологических процессов и аппаратов, методов их исследования <i>Вводная лекция.</i> Роль, структура, цель и задачи дисциплины. Связь с другими дисциплинами. Классификация промышленного энерготехнологического оборудования. Технологическое и аппаратурное оформление промышленных теплотехнологических процессов. Энергетическое и энерготехнологическое хозяйство промышленного предприятия.	Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.,
		2.	Моделирование теплоэнергетических объектов. Принципы моделирования и условия моделируемости. Этапы моделирования. Виды моделей и форма их представления. Физическое и математическое моделирование. Модели с распределёнными и сосредоточенными параметрами. Динамические и статические модели. Блочный принцип составления модели. Адекватность	

				Источ- ник ссыл- ки не най- ден., Ошиб- ка! Источ- ник ссыл- ки не най- ден.
3	6	5.	Теплотехническая характеристика наиболее распро- страненных теплоносителей и методы расчёта их те- плофизических свойств Теплотехническая характеристика теплоносителей, наи- более распространенных в теплоэнергетике: вода, водя- ной пар, дымовые газы, воздух. Высокотемпературные органические и другие специальные теплоносители. Достоинства и недостатки этих теплоносителей, области их рационального применения.	Ошиб- ка! Источ- ник ссыл- ки не най- ден., Ошиб- ка! Источ- ник ссыл- ки не най- ден., Ошиб- ка! Источ- ник ссыл- ки не най- ден., Ошиб- ка! Источ- ник ссыл- ки не най- ден., Ошиб- ка! Источ- ник ссыл- ки не
		6.	Основные теплотехнические свойства теплоносителей, знание которых необходимо при расчете теплообменных процессов и аппаратов: плотность, сжимаемость, темпе- ратурное расширение, теплоемкость, вязкость, теплопро- водность.	
		7.	Основные методы расчета физических свойств веществ: статистической физики, аддитивности, подобия. Примеры конкретного применения данных методов. Расчётные соотношения для определения основных теплофизических свойств теплоносителей.	

				най-ден.
4	6	8.	Методы интерполяции справочных данных и аппроксимации экспериментальных данных Постановка задачи интерполяции. Интерполяционный многочлен Лагранжа. Организация вычислений по формуле Лагранжа. Интерполяционный процесс Эйткена.	Ошиб-ка! Источ-ник ссыл-ки не най-ден., Ошиб-ка! Источ-ник ссыл-ки не най-ден., Ошиб-ка! Источ-ник ссыл-ки не най-ден., Ошиб-ка! Источ-ник ссыл-ки не най-ден., Ошиб-ка! Источ-ник ссыл-ки не най-ден.
		9.	Интерполяционные многочлены Ньютона для равноотстоящих узлов. Конечные разности. Первая интерполяционная формула Ньютона. Вторая интерполяционная формула Ньютона. Интерполяционная формула Стирлинга. Интерполяция на основе кубического сплайна. Интерполяция на основе ортогональных многочленов Чебышева. Погрешность многочленной интерполяции.	
		10.	Метод наименьших квадратов. Нахождение приближающей функции в виде линейной функции. Отыскание параметров многочлена m -й степени. Нахождение приближающей функции в виде других элементарных функций. Выбор приближающей функции. Погрешность метода наименьших квадратов.	
1	2	3	4	5
5	10	11.	Вычислительный эксперимент при поиске оптимума Постановка и основные методы решения оптимизационных задач. Оптимизация без ограничений и с ограничениями. Типы ограничений. Методы поиска экстремума функции: одномерная задача. Методы непосредственного поиска экстремума: метод Ньютона, метод Фибоначчи, метод «золотого сечения». Поиск экстремума на основе аппроксимации функции: полиномом второй степени (метод Пауэлла), полиномом	Ошиб-ка! Ис-точник ссылки не най-ден., Ошиб-ка! Ис-

		третьей степени (метод Давидона).	точник ссылки не най- ден., Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден., Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден.
		12. Методы прямого поиска минимума функции n переменных. Метод покоординатного спуска. Метод покоординатного спуска с поиском по образцу (метод Хука-Дживса).	
		13. Симплексные методы поиска экстремума. Понятие симплекса и его свойства. Метод деформируемого многогранника (метод Нелдера-Мида).	
		14. Градиентные методы поиска экстремума. Метод наискорейшего спуска.	
		15. Оптимизация при наличии ограничений. Физические и технологические ограничения. Ограничения в виде равенств. Ограничения в виде неравенств. Методы поиска с ограничениями. Модифицированный симплексный метод: комплексный метод Бокса.	
6	10	16. Методы статистической обработки и анализа экспериментальных данных Основные понятия и определения. Непрерывные и дискретные случайные величины. Распределения случайных величин: нормальное распределение, гамма-распределение, распределение χ^2 , распределение Стьюдента, распределение Фишера. Проверка статистических гипотез. Точечные и интервальные оценки. Критерии значимости. Исключение грубых ошибок. Корреляция и регрессия.	Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден., Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден., Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден., Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден.
		17. Типы погрешностей. Погрешности средств измерений: по способу определения (абсолютные, относительные, приведенные), в зависимости от внешних условий (основные, дополнительные), по характеру проявления (систематические, случайные), по форме границ полосы погрешностей (аддитивные, мультипликативные). Класс точности прибора. Нормирование погрешностей средств измерений.	
		18. Классификация измерений. Обработка результатов прямых измерений. Обработка результатов косвенных измерений.	
		19. Планирование точности измерений при подготовке эксперимента. Методы предварительной оценки погрешности измерений. Предварительная оценка погрешности прямых статических измерений. Принципы суммирования погрешностей. Жесткие и корреляционные связи величин. Числовые характеристики тесноты корреляционных связей.	

				ден., Ошибка! Ис- точник ссылки не най- ден.
1	2	3	4	5
		20.	Оценка погрешности косвенных измерений. Операции с погрешностями. Статистически независимые погрешности, жёстко коррелированные погрешности. Расчёт статистически независимых погрешностей косвенных измерений: погрешность суммы, погрешность разности, погрешность произведения, погрешность частного, погрешность возведения в степень.	
	2	21.	Заключение Прикладные программы и системы решения математических, инженерно-технических и научных задач.	

Всего: 42 часа.

6. Содержание коллоквиумов

№ те- мы	Всего часов	№ колло- квиу- ма	Тема коллоквиума. Вопросы, отрабатываемые на коллоквиуме.	Учебно- методиче- ское обес- печение
1	2	3	4	5
2	2	1.	Итерационные методы при численном эксперименте и их реализация на ЭВМ при решении нелинейных уравнений с одной переменной, систем линейных алгебраических уравнений.	Ошибка! Ис- точник ссылки не най- ден., Ошибка! Ис- точник ссылки не най- ден., Ошибка! Ис- точник ссылки не най- ден., Ошибка! Ис- точник ссылки

				точник ссылки не най- ден., Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден., Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден.
5	3	4.	Методы поиска экстремума (оптимума) целевой функции при анализе и оптимизации теплоэнергетических объектов	Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден., Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден., Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден., Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден.
6	3	5.	Методы обработки на ЭВМ и анализа экспериментальных данных	Ошиб- ка! Ис- точник ссылки не най- ден.,

				<p>Ошибка! Источники ссылки не найдены.</p> <p>Ошибка! Источники ссылки не найдены.</p> <p>Ошибка! Источники ссылки не найдены.</p> <p>Ошибка! Источники ссылки не найдены.</p> <p>Ошибка! Источники ссылки не найдены.</p> <p>Ошибка! Источники ссылки не найдены.</p> <p>Ошибка! Источники ссылки не найдены.</p> <p>Ошибка! Источники ссылки не найдены.</p> <p>Ошибка! Источники ссылки не найдены.</p> <p>Ошибка! Источники ссылки не найдены.</p> <p>Ошибка! Источники ссылки не найдены.</p>
--	--	--	--	--

Всего: 12 часов.

7. Перечень практических занятий

№ темы	Всего часов	№ занятия	Тема практического занятия. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии.	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1.	Вводное занятие. Инструктаж по технике безопасности. Освоение интерфейса MS Visual Basic	Ошибка! Источники ссылки не найдены. Ошибка! Источники ссылки не найдены.
	2	2.	Основные синтаксические конструкции языка программирования высокого уровня на примере MS Visual Basic: основные типы переменных, организация вычислений, ввода и вывода данных, циклов, условного ветвления.	

				ка! Источники ссылки не найдены., Ошибка! Источники ссылки не найдены., 19
5	2	15.	Поиск экстремума функции одной переменной методом Ньютона	Ошибка! Источники ссылки не найдены., Ошибка! Источники ссылки не найдены., Ошибка! Источники ссылки не найдены., Ошибка! Источники ссылки не найдены., Ошибка! Источники ссылки не найдены., Ошибка! Источники ссылки не найдены., 19
	2	16.	Поиск экстремума функции одной переменной методом Фибоначчи	
	2	17.	Поиск экстремума функции одной переменной методом «золотого сечения»	
	2	18.	Поиск экстремума функции одной переменной методом аппроксимации полиномом второй степени (Метод Пауэлла).	
	2	19.	Поиск минимума функции n переменных методом покоординатного спуска (с покоординатным поиском методом Фибоначчи, методом «золотого сечения»).	
	2	20.	Поиск минимума функции n переменных методом покоординатного спуска (с покоординатным поиском методом Ньютона, методом Пауэлла).	
1	2	3	4	5
	2	21.	Поиск минимума функции n переменных методом покоординатного спуска с поиском по образцу (методом Хука-Дживса)	
	2	22.	Поиск минимума функции n переменных симплексным ме-	

			тодом с использованием регулярного симплекса	
	2	23.	Поиск минимума функции n переменных методом деформируемого многогранника (симплексный метод Нелдера-Мида).	
	2	24.	Поиск минимума функции n переменных градиентным методом. Реализация на ЭВМ алгоритма метода наискорейшего спуска.	
	2	25.	Поиск минимума с ограничениями. Реализация на ЭВМ алгоритма комплексного метода (метода Бокса).	
6	2	26.	Расчет на ЭВМ с целью проверки статистических гипотез.	Ошибка! Источники ссылки не найдены., Ошибка! Источники ссылки не найдены., Ошибка! Источники ссылки не найдены., Ошибка! Источники ссылки не найдены., Ошибка! Источники ссылки не найдены., Ошибка! Источники ссылки не найдены., 19
	2	27.	Вычисление коэффициента корреляции. Доверительные оценки коэффициента корреляции.	

Всего: 54 часа.

8. Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены

9. Задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Всего часов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания).	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4

1.	10	Практическое освоение основных принципов реализации математической модели в виде алгоритма решения задачи и программы расчёта. Основные интерфейса и основных синтаксических конструкций языка программирования MS Visual Basic	Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.
2.	14	Самостоятельная отладка программ, реализующих решение на ЭВМ трансцендентного уравнения методом бисекций, методом простых итераций, методом Ньютона. Самостоятельная отладка программ, реализующих решение на ЭВМ системы линейных уравнений методом простых итераций, методом Зейделя, методом Гаусса (в соответствии с вариантами задания).	Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник

			ник ссылки не най- ден.
3.	12	Расчёт параметров теплоносителей, свойства которых заданы в табличной форме. Нахождение параметров теплоносителей в произвольных промежуточных точках на основе интерполяционных многочленов Лагранжа, Ньютона, Стирлинга, Бесселя. Оценка погрешности интерполяции. Выбор наиболее подходящего интерполяционного многочлена, обоснованное определение его степени. Построение кубического сплайна и уплотнение таблицы теплофизических свойств теплоносителей с его помощью. Самостоятельная отладка программ (в соответствии с вариантами задания).	Ошибка! Источ- ник ссылки не най- ден., Ошибка! Источ- ник ссылки не най- ден., Ошибка! Источ- ник ссылки не най- ден., Ошибка! Источ- ник ссылки не най- ден., Ошибка! Источ- ник ссылки не най- ден., 19
1	2	3	4
4.	16	«Оцифровка» номограммы для расчёта на компьютере. Нахождение приближающей элементарной функции методом наименьших квадратов. Оценка погрешности аппроксимации. Выбор наиболее подходящей функции.	Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка!

			Источник ссылки не найден., 19
5.	14	Самостоятельная отладка программ, реализующих вычисление на ЭВМ алгоритмов поиска минимума функции одной переменной; функции n переменных методами покоординатного спуска, градиентными методами, симплексными методами (в различных модификациях методов) – в соответствии с вариантами задания.	Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., 19
6.	34	Самостоятельная отладка программ, реализующих вычисление на ЭВМ коэффициента корреляции. Доверительные оценки коэффициента корреляции (в соответствии с вариантами задания).	Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., 19
	8	Домашняя проработка лекционного материала (из расчета 20% от количества аудиторных занятий) $0,2 \times 42 = 8$ часов.	Конспекты лекций

Всего: 96 часов.

10.Расчётно-графическая работа учебным планом не предусмотрена

11. Курсовая работа учебным планом не предусмотрена

12. Курсовой проект учебным планом не предусмотрен

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

Профессиональная компетенция ПК-4, ОПК-1 формируется по этапам:

- изучение и освоение математического аппарата, предназначенного для решения исследовательских задач;
- изучение методики реализации рассматриваемых численных методов в виде алгоритма решения задачи на ЭВМ;
- освоение методики составления программного кода, реализующего выбранный алгоритм решения задачи;
- приобретение навыков ввода в ЭВМ, проверки работоспособности и отладки программ собственной разработки в среде MS VBA;
- приобретение навыков и умений выполнения исследовательских расчётов по составленным программам;
- приобретение опыта оценки адекватности получаемых результатов численного эксперимента в теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях.

Карта компетенций

Компетенции		Перечень компонентов	Технологии формирования	Метод оценивания	Ступени уровней освоения компетенции
Индекс	Формулировка				

Карта компетенций

Компетенции		Перечень компонен- тов	Технологии формирова- ния	Метод оце- нивания	Ступени уровней освоения компетенции
Индекс	Форму- лировка				
ОПК-1	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять её в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий	<p>Знать основные методы осуществления поиска, хранения, обработки и анализа информации, получаемой на основе проведения экспериментальных исследований, представленной в различной справочной литературе и интернет-ресурсах.</p> <p>Уметь работать с литературой и интернет-источниками, пользоваться программными средствами для решения задач математической обработки результатов экспериментальных исследований.</p> <p>Владеть информационными, компьютерными и сетевыми технологиями, необходимыми для применения математических методов обработки, анализа и представления в требуемом формате результатов экспериментальных исследований в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях.</p>	Лекции; практические занятия; самостоятельная работа в библиотеке, с электронными ресурсами и базами данных; выполнение на ЭВМ индивидуальных заданий.	Устный ответ; выполнение индивидуального задания при проведении коллоквиумов; решение задач согласно индивидуальное задание; компьютерное тестирование; выполнение заданий зачёта; выполнение экзаменационных заданий	<p align="center">Пороговый (удовлетворительно)</p> <p>Знает общие принципы обработки и анализа экспериментальных и справочных данных.</p> <p>Умеет находить информацию, позволяющую сформулировать методику решения задач обработки результатов экспериментальных исследований математическими методами.</p> <p>Владет навыками алгоритмизации математических методов решения задач обработки результатов экспериментальных исследований.</p> <p align="center">Продвинутый (хорошо)</p> <p>Знает материал, излагает стройно, логически и структурно взаимосвязано способы сбора и представления экспериментальных и справочных данных для их последующей обработки и анализа, отвечает на вопросы преподавателя.</p> <p>Умеет пользоваться различными информационными, компьютерными и сетевыми технологиями.</p> <p>Владет методикой алгоритмизации математических методов анализа результатов экспериментальных исследований и умеет составлять компьютерные программы по готовым алгоритмам.</p> <p align="center">Высокий (отлично)</p> <p>Знает материал, демонстрирует его углублённое теоретическое понимание, приводит примеры из различных информационных компьютерных и сетевых источников.</p> <p>Умеет грамотно излагать суть поставленной задачи, может систематизировать и обобщать информацию, делать выводы, ставить и решать нетривиальные задачи.</p> <p>Владет навыками алгоритмизации математических методов анализа результатов экспериментальных исследований и умеет составлять компьютерные программы, реализующие эти алгоритмы, выполнять расчёты и анализировать достоверность получаемых результатов.</p>

Карта компетенций					
Компетенции		Перечень компонентов	Технологии формирования	Метод оценивания	Ступени уровней освоения компетенции
Индекс	Формулировка				
ПК-4	способность к проведению экспериментов по заданной методике, обработке и анализу полученных результатов с привлечением соответствующего математического аппарата	<p>Знать основные методы математической статистики, применяемые для обработки и анализа результатов экспериментов; математический аппарат и алгоритмы проведения численных экспериментов при решении экстремальных задач.</p> <p>Уметь составлять алгоритм математической обработки результатов экспериментальных исследований, составлять алгоритм решения задач поиска экстремума функции, выбирать наиболее рациональный путь решения конкретной исследовательской задачи; реализовывать составленные алгоритмы в виде программы для ЭВМ на языке программирования высокого уровня.</p> <p>Владеть навыками ввода в ЭВМ, проверки работоспособности и отладки программ собственной разработки; практикой выполнения исследовательских расчётов по составленным программам; опытом оценки адекватности получаемых результатов численного эксперимента в теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях.</p>	Лекции; практические занятия; самостоятельная работа в библиотеке, с электронными ресурсами и базами данных; выполнение на ЭВМ индивидуальных заданий.	Устный ответ; выполнение индивидуального задания при проведении коллоквиумов; решение задач согласно индивидуальному заданию; компьютерное тестирование; выполнение заданий зачёта; выполнение экзаменационных заданий	<p>Пороговый (удовлетворительно)</p> <p>Знает основные структурные элементы математического аппарата обработки и анализа результатов экспериментальных исследований, аналитических и численных методов поиска экстремума функции многих переменных. Знает суть и назначение основных статистических критериев.</p> <p>Умеет алгоритмизировать отдельные составные части задачи математической обработки результатов экспериментальных исследований, составлять элементы общего алгоритма решения задач поиска экстремума функции, задач статистической обработки экспериментальных данных.</p> <p>Владет основами алгоритмизации известных методов решения задач обработки экспериментальных исследований.</p> <p>Продвинутый (хорошо)</p> <p>Знает материал на хорошем уровне, излагает основную суть вопроса в логической взаимосвязи с решаемой задачей экспериментального исследования, отвечает на дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя.</p> <p>Умеет на основе знания известного математического аппарата применять алгоритм исследовательского расчёта и составлять компьютерную программу, реализующую данный алгоритм, выполнять отладку и тестирование программы.</p> <p>Владет навыками самостоятельного выполнения расчётов необходимых для решения задач экспериментальных исследований.</p> <p>Высокий (отлично)</p> <p>Знает математические методы анализа статистической обработки и анализа экспериментальных данных, методы поиска экстремума функции, методы аппроксимации экспериментальных данных и способы численной реализации указанных методов.</p> <p>Умеет сопоставлять различные известные методы решения задач экспериментальных исследований, выявляя наиболее рациональный способ решения конкретной задачи.</p> <p>Владет материалом свободно, демонстрирует глубокие теоретические знания, умеет применять и сравнивать освоенные методы решения задач обработки экспериментальных исследований, выбирая наиболее рациональный путь решения, учитывающий конкретику поставленной задачи. Владет методикой самостоятельного обобщения полученных результатов и формулирования выводов.</p>

Структура типовых контрольных заданий для зачёта и экзамена

Вопросы для зачёта

Первый семестр изучения дисциплины призван подготовить студента к углублённому освоению во втором семестре компетенций ОПК-1 и ПК-4 в разрезе изучаемой дисциплины. По итогам первого семестра студент должен:

Пороговый уровень

- **знать** теоретические основы итерационных численных методов решения уравнений с одним неизвестным, методов решения систем линейных уравнений;
- **уметь** пользуясь готовым алгоритмом решения задачи составлять вычислительную программу на языке программирования MS Visual Basic, позволяющую получить решение типовой задачи (перечень типовых задач заранее известен студенту);
- **владеть** методиками отладки составленной программы, оценки вычислительной погрешности, оценки адекватности полученного результата.

Продвинутый уровень

- **знать** теоретические основы итерационных численных методов решения уравнений с одним неизвестным, методов решения систем линейных уравнений;
- **уметь** проводить аналитическую проверку условий сходимости итерационной процедуры, пользуясь готовым алгоритмом решения задачи составлять вычислительную программу на языке программирования MS Visual Basic, позволяющую получить решение уравнений, которые студенту заранее неизвестны;
- **владеть** методиками отладки составленной программы, оценки вычислительной погрешности, оценки адекватности полученного результата, внесения корректив в программу с учётом меняющейся формулировки задачи.

Высокий уровень

- **знать** теоретические основы итерационных численных методов решения уравнений с одним неизвестным, методов решения систем линейных уравнений; преимущества и недостатки изученных численных методов;
- **уметь** проводить аналитическую проверку условий сходимости итерационной процедуры, сопоставлять вычислительную эффективность изученных численных методов применительно к конкретной решаемой задаче; пользуясь готовым алгоритмом решения задачи составлять вычислительную программу на языке программирования MS Visual Basic, позволяющую получить решение уравнений, которые студенту заранее неизвестны; вносить изменения в алгоритм, учитывающие специфику конкретной решаемой задачи с целью повышения эффективности вычислительной процедуры; обосновывать выбор рационального численного метода для решения данной задачи;
- **владеть** методиками отладки составленной программы, оценки вычислительной погрешности, оценки адекватности полученного результата, внесения корректив в программу с учётом меняющейся формулировки задачи, с учётом особенностей решаемого уравнения (системы уравнений).

В качестве задания для зачёта студенту предлагается решить одну из задач, рассмотренных в течение семестра в ходе изучения курса, изложив теоретические основы решения рассматриваемой задачи, алгоритм решения, а также представить работоспособную программу и произвести необходимые вычисления с её помощью; обосновать правильность полученного результата и определить вычислительную погрешность.

1. Решение на ЭВМ трансцендентного уравнения методом бисекций.
2. Решение на ЭВМ трансцендентного уравнения методом простых итераций.

3. Решение на ЭВМ трансцендентного уравнения методом Ньютона (касательных).
4. Решение на ЭВМ трансцендентного уравнения методом секущих.
5. Решение на ЭВМ системы линейных уравнений методом простых итераций.
6. Решение на ЭВМ системы линейных уравнений методом Зейделя.
7. Решение на ЭВМ системы линейных уравнений методом Гаусса.
8. Решение на ЭВМ системы линейных уравнений методом прогонки.

Вопросы для экзамена

Экзаменационное задание состоит из двух частей: практической (вопросы с 1 по 30) и теоретической (вопросы с 31 по 60). До отчёта по теоретической части допускаются студенты, успешно выполнившие практическую часть. В ходе выполнения практической части студент демонстрирует знания, навыки и умения, позволяющие решить одну из рассмотренных в ходе изучения курса задач, изложив теоретические основы решения рассматриваемой задачи, алгоритм решения, а также представив работоспособную программу и произведя необходимые вычисления с её помощью; обосновав правильность полученного результата и определив вычислительную погрешность. В ходе отчёта по теоретической части курса студент демонстрирует знание общетеоретических основ по рассматриваемым в дисциплине вопросам. Эти знания являются необходимой базой для формулировки и практической реализации основных методов экспериментальных исследований.

- 1) организация вычислений по интерполяционной формуле Лагранжа;
- 2) организация вычислений на основе интерполяционно-итерационного процесса Эйткена. Оценка погрешности интерполяции;
- 3) организация вычислений на основе интерполяционного многочлена Ньютона (первая формула Ньютона). Оценка погрешности интерполяции;
- 4) организация вычислений на основе интерполяционного многочлена Ньютона (вторая формула Ньютона). Оценка погрешности интерполяции;
- 5) организация вычислений на основе интерполяционного многочлена Стирлинга. Оценка погрешности интерполяции;
- 6) организация интерполяционных вычислений с помощью кубического сплайна;
- 7) организация интерполяционных вычислений на основе ортогональных многочленов Чебышева. Оценка погрешности интерполяции;
- 8) нахождение приближающей элементарной функции методом наименьших квадратов: степенная функция. Оценка погрешности аппроксимации;
- 9) нахождение приближающей элементарной функции методом наименьших квадратов: показательная функция. Оценка погрешности аппроксимации;
- 10) нахождение приближающей элементарной функции методом наименьших квадратов: логарифмическая функция. Оценка погрешности аппроксимации;
- 11) нахождение приближающей элементарной функции методом наименьших квадратов: гиперболическая функция. Оценка погрешности аппроксимации;
- 12) нахождение приближающей элементарной функции методом наименьших квадратов: дробно-линейная функция. Оценка погрешности аппроксимации;
- 13) нахождение приближающей элементарной функции методом наименьших квадратов: дробно-рациональная функция. Оценка погрешности аппроксимации;
- 14) нахождение приближающей элементарной функции методом наименьших квадратов. Отыскание параметров многочлена 2-й степени (случай равноотстоя-

щих узлов). Оценка погрешности аппроксимации;

15) нахождение приближающей элементарной функции методом наименьших квадратов. Отыскание параметров многочлена m -й степени. Оценка погрешности аппроксимации;

16) поиск экстремума функции одной переменной методом Ньютона;

17) поиск экстремума функции одной переменной методом Фибоначчи;

18) поиск экстремума функции одной переменной методом «золотого сечения»;

19) поиск экстремума функции одной переменной методом аппроксимации полиномом второй степени (метод Пауэлла);

20) поиск минимума функции n переменных методом покоординатного спуска;

21) поиск минимума функции n переменных методом покоординатного спуска с поиском по образцу (методом Хука-Дживса);

22) поиск минимума функции n переменных симплексным методом с использованием регулярного симплекса;

23) поиск минимума функции n переменных методом деформируемого многогранника (симплексный метод Нелдера-Мида);

24) поиск минимума функции n переменных градиентным методом: методом наискорейшего спуска;

25) поиск минимума функции n переменных с учётом ограничений: комплексный метод (метода Бокса);

26) сопоставление эмпирического распределения с нормальным распределением. Вывод на основе критерия Пирсона;

27) для двух выборок из нормально распределённых генеральных совокупностей проверить гипотезы: о равенстве математических ожиданий исходных генеральных совокупностей (на основе критерия Стьюдента); о равенстве дисперсий (на основе критерия Фишера);

28) определить коэффициент регрессии и коэффициент линейной корреляции между \vec{x} и \vec{y} . На основе критерия Фишера сделать вывод о значимости различия дисперсий. На основе критерия Стьюдента сделать вывод о значимости отличия от нуля выборочного коэффициента корреляции;

29) обработка результатов прямых измерений: точечная, а также интервальная оценка истинного значения измеряемой величины и её дисперсии;

30) обработка результатов косвенных измерений. Учёт случайных и систематических погрешностей: абсолютных и относительных. Максимальная погрешность. Вероятностная оценка значения измеряемой величины при заданном уровне значимости (доверительной вероятности);

31) основные понятия математической статистики: среднее арифметическое, стандартное отклонение, коэффициент вариации;

32) непрерывные и дискретные случайные величины. Распределения случайных величин. Характеристики центра распределения: математическое ожидание, медиана, мода;

33) центральные моменты распределения случайной величины;

34) нормальное распределение: плотность распределения, основные свойства, практическое применение для анализа экспериментальных данных;

35) гамма-распределение: плотность распределения, основные свойства, практическое применение для анализа экспериментальных данных;

36) распределения Стьюдента, Фишера, Пирсона: плотность распределения,

практическое применение для анализа экспериментальных данных;

37) формулировка статистических гипотез и их проверка. Ошибки первого и второго рода. Доверительная вероятность и уровень значимости;

38) формулировка статистических гипотез и их проверка. Критические области и критические точки. Области практического применения критериев Пирсона, Стьюдента, Фишера;

39) точечные и интервальные оценки. Критерии значимости. Различия между двумя выборочными средними. Различия между двумя выборочными дисперсиями;

40) вычисление коэффициентов корреляции и регрессии. Критерии для оценки значимости полученных результатов;

41) погрешности средств измерений: абсолютные, относительные, приведённые. Методика вычисления;

42) погрешности средств измерений: основные и дополнительные, систематические и случайные;

43) погрешности средств измерений: аддитивные, мультипликативные. Методика вычисления;

44) класс точности прибора: символическое отображение на шкале, методика расчёта нормируемой величины основной приборной погрешности;

45) классификация измерений: прямые, косвенные, совокупные, совместные;

46) погрешности косвенных измерений: статистически независимые и жёстко коррелированные. Операции с погрешностями;

47) методика расчёта статистически независимых погрешностей косвенных измерений: погрешность суммы;

48) методика расчёта статистически независимых погрешностей косвенных измерений: погрешность разности;

49) методика расчёта статистически независимых погрешностей косвенных измерений: погрешность произведения;

50) методика расчёта статистически независимых погрешностей косвенных измерений: погрешность частного;

51) методика расчёта статистически независимых погрешностей косвенных измерений: погрешность возведения в степень;

52) числовые характеристики тесноты корреляционных связей и их взаимосвязь с погрешностями средств измерений;

53) постановка задачи поиска экстремума функции одной переменной. Аналитические методы поиска экстремума;

54) общая сравнительная характеристика численных методов поиска экстремума функции одной переменной;

55) общая характеристика покоординатных методов поиска экстремума функции n переменных. Преимущества и недостатки по сравнению с другими методами поиска;

56) общая характеристика симплексных методов поиска экстремума функции n переменных. Понятие регулярного симплекса и его основные свойства. Преимущества и недостатки по сравнению с другими методами;

57) общая характеристика градиентных методов поиска экстремума функции n переменных. Преимущества и недостатки по сравнению с другими методами;

58) применение функции Лагранжа и множителей Лагранжа при поиске экстремума функции n переменных;

59) оптимизация с ограничениями. Типы ограничений: явные и неявные.

Свойства выпуклости. Трудности оптимизации с ограничениями;

60) общая характеристика методов поиска экстремума функции n переменных с ограничениями. Трудности непосредственного применения методов оптимизации без ограничений.

Тестовые задания по дисциплине

Тестовые задания, размещённые в среде АСТ-тест, распределены по темам. Большинство тестовых вопросов и заданий, составленных в закрытой форме, представлены несколькими вариантами, содержащими единую формулировку вопроса (задания), но различные алгебраические уравнения или фрагменты алгоритма, программного кода, либо численные значения параметров, на основе анализа которых, студент должен сделать правильный вывод. В ходе тестирования студенту, как правило, предъявляется один из вариантов, выбираемый случайным образом. Такой подход позволяет более объективно оценить знание студентом терминологии и основных понятий дисциплины, его умение правильно анализировать и сопоставлять имеющуюся информацию, а также уровень владения математическим аппаратом и способность практического применения теоретических знаний. Снижается вероятность механического заучивания студентом численных значений либо графических изображений, соответствующих единственному правильному ответу на тестовый вопрос, т.к. одно и то же символическое обозначение в зависимости от формулировки задания может быть, как верным, так и неверным ответом на вопрос.

При оценке знаний студента за первый семестр освоения дисциплины на тестирование выносятся вопросы по первым трём темам. При итоговой оценке знаний студента за весь курс в состав тестовых заданий включаются вопросы по всем шести темам.

номера вопросов	формулировка вопроса (задания)
Тема 1. Общая характеристика теплотехнологических процессов и аппаратов, методов их исследования	
1-3	Выбрать верные (либо указать неверные) формулировки и определения понятий, касающиеся моделирования: <ul style="list-style-type: none">– статическая модель не учитывает изменения параметров во времени;– если основные переменные моделируемого процесса в пространстве не изменяются, то такие процессы описываются моделями с сосредоточенными параметрами;– если основные переменные процесса изменяются во времени и в пространстве, то такие процессы, описываются моделями с распределёнными параметрами;– для проверки адекватности математической модели реальному процессу необходимо все без исключения расчеты, выполняемые по модели, подтверждать результатами измерений, выполняемых в ходе испытаний изучаемого объекта;– математическое моделирование не противопоставляется физическому моделированию, а дополняет его имеющимися средствами математического описания и численного анализа;– динамические модели отражают изменение объекта во времени;– статические модели отражают работу объекта в стационарных условиях,

номера вопросов	формулировка вопроса (задания)
	<p>когда параметры процесса не меняются во времени;</p> <ul style="list-style-type: none"> – теплообменные аппараты с полным (идеальным) перемешиванием теплоносителей описываются моделями с сосредоточенными параметрами; – математическая формулировка статических моделей с распределенными параметрами включает в себя дифференциальные уравнения в частных производных; – математическая формулировка статических моделей с сосредоточенными параметрами обязательно включает в себя дифференциальные уравнения первого порядка.
4-8	<p>Варианты заданий на упорядочение. Расположить в верной последовательности основные этапы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – моделирования теплоэнергетических объектов; – физического моделирования теплоэнергетических объектов; – математического моделирования теплоэнергетических объектов; – решения задачи оптимизации теплотехнологических объектов; – решения на ЭВМ оптимизационных задач; – алгоритмизации задач теплотехники.
Тема 2. Итерационные методы при численном эксперименте и их реализация на ЭВМ	
9-15	<p>Основные элементы и простейшие конструкции языка логических схем (ЯЛС), используемого для наглядного представления алгоритма решения теплотехнических задач.</p> <ul style="list-style-type: none"> – от студента требуется выбрать правильное название представленного графического элемента блок-схемы; – установить соответствие представленного в задании графического элемента и его названия либо характерного назначения в алгоритме; – указать назначение конструкции, состоящей из нескольких элементов ЯЛС.
16-18	Среди записанных уравнений выбрать алгебраические и трансцендентные.
19-21	Привести записанное трансцендентное уравнение к итерационному виду (выбрать верные варианты преобразования).
22-23	Задана функция $f(x) = 0$, определенная и непрерывная на отрезке $[a, b]$. Исходя из значений функции $f(a)$ и $f(b)$ сделать вывод о наличии или отсутствии на $[a, b]$ корней уравнения $f(x) = 0$, возможном количестве этих корней.
24-32	<p>Для решаемого уравнения вида $f(x) = 0$ указать достаточные условия сходимости итерационного процесса:</p> <p>а) с учётом численного метода его решения (ответ в общем виде):</p> <ul style="list-style-type: none"> – метод бисекций; – метод простых итераций; – метод касательных; – метод секущих; <p>б) с учётом выбранного численного метода и <i>конкретного</i> вида решаемого уравнения (требуется выполнить простейшие алгебраические преобразования, например, найти производную, решить неравенство)</p>
33-36	Указать способ построения итерационной последовательности (с учётом применяемого численного метода)

номера вопросов	формулировка вопроса (задания)
37-40	Сопоставить надёжность изученных численных методов и их скорость сходимости: – применительно к решению уравнений вида $f(x) = 0$; – применительно к решению систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).
41-47	Основные этапы (последовательность) реализации численных методов решения СЛАУ (с учётом применяемого метода): – метод Гаусса; – метод прогонки; – метод итераций; – метод Зейделя.
48-50	Область применения изученных численных методов решения СЛАУ с учётом особенностей записанной системы уравнений и достаточных условий получения её решения.
Тема 3. Теплотехническая характеристика наиболее распространённых теплоносителей и методы расчёта их теплофизических свойств	
51-53	Указать более распространённые и менее распространённые в теплоэнергетике теплоносители.
54-57	указать (выбрать из представленных вариантов) область применения теплоносителей: – для каких теплотехнологических процессов; – для какого интервала температур.
58-60	указать и кратко охарактеризовать (знать определение) важные для теплотехнических расчётов теплофизические свойства теплоносителей.
61-65	указать и кратко охарактеризовать (знать определение) основные методы расчета теплофизические свойства теплоносителей.
Тема 4. Методы интерполяции справочных данных и аппроксимации экспериментальных данных	
66-72	Сопоставление интерполяционных многочленов, основанных на подсчёте конечных (центральных) разностей: рациональная область применения, число задействованных узлов, ограничения, минимизация погрешности.
73-75	Сопоставление построения интерполяционных многочленов для равноотстоящих и не равноотстоящих узлов интерполяции.
76-82	При реализации аппроксимации методом наименьших квадратов вычисление коэффициентов многих нелинейных приближающих функций можно соответствующей заменой переменных свести к определению коэффициентов линейного уравнения. Требуется указать, какая для этого должна выполняться замена переменных в ряде наиболее распространённых случаев.
83-84	Взаимосвязь степени интерполяционного многочлена и числа узлов интерполяции.
Тема 5. Вычислительный эксперимент при поиске оптимума	
85-88	Способы уменьшения интервала неопределённости при поиске минимума функции одной переменной различными методами: золотого сечения, Фибоначчи, Пауэлла.

номера вопросов	формулировка вопроса (задания)
89-90	Сопоставление надёжности изученных численных методов поиска экстремума функции одной переменной и их скорости сходимости.
91-94	Определение направления поиска экстремума функции градиентным методом. Предлагается вывести выражения для компонентов градиента конкретной оптимизируемой функции.
95-98	Сопоставление надёжности изученных численных методов поиска экстремума функции n переменной и их скорости сходимости: покоординатных методов, симплексных методов, градиентных методов.
99-105	Элементы алгоритмов изученных численных методов поиска экстремума функции n переменной: порядок и последовательность применения элементов алгоритмов поиска, выбор направления поиска на каждом шаге.
106-109	Оптимизация при наличии ограничений: типы ограничений, влияние ограничений на сходимость
Тема 6. Методы статистической обработки и анализа экспериментальных данных	
110-112	Непрерывные и дискретные случайные величины: знать понятия и способ оперирования с ними, демонстрировать умение ориентироваться в видах случайных величин на конкретных примерах.
113-116	Некоторые распределения случайных величин и их взаимосвязь со статистическими критериями: знать характеристики распределений и область практического применения.
117-123	Виды погрешностей средств измерений (от студента требуется ориентироваться в понятиях и определениях): – по способу определения (знать расчётные соотношения и области их применения); – в зависимости от внешних условий (знать, как влияют внешние условия); – по характеру проявления (знать характер проявления, уметь указать способ выявления, владеть методикой учёта погрешности); – по форме границ полосы погрешностей (знать какие приборы имеют соответствующие полосы погрешностей); – класс точности прибора (знать какие классы точности существуют и как обозначаются, уметь определять класс точности по графическому обозначению на шкале прибора, владеть методикой расчёта погрешности по показаниям прибора и его классу точности).
124-126	Корреляция и регрессия: знать определение, понимать взаимосвязь между коэффициентами регрессии и корреляции и уметь их рассчитывать, владеть методикой корреляционного и регрессионного анализа.
127-132	Статистические гипотезы: знать понятие, уметь формулировать (на конкретных примерах), владеть методикой проверки гипотез на основе расчёта статистических критериев Стьюдента, Фишера, Пирсона; уметь делать вывод путём сравнения рассчитанных значений статистических критериев с их критическими значениями.
133-138	Точечные и интервальные оценки: знать понятия, понимать отличие оценок и область их применения; уметь выполнять расчёты на конкретном примере обработки результатов измерений (пользуясь справочной информацией);

номера вопросов	формулировка вопроса (задания)
	владеть методикой расчёта точечных и интервальных оценок результатов измерений средствами MS Excel

14. Образовательные технологии

В рамках реализации компетентного подхода предусматривается реализация активных и интерактивных форм проведения занятий. В частности, в ходе проведения практических занятий и коллоквиумов предусматривается решение ситуационных задач в диалоговом режиме с использованием пакета MS Office.

15. Перечень учебно-методического обеспечения для обучающихся по дисциплине

1. Основная литература

1. 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>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

2. Петров И.Б. Лекции по вычислительной математике [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Петров И.Б., Лобанов А.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2006. – 523 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16089>. - ЭБС «IPRbooks», по паролю

3. Прохоров Ю.В. Лекции по теории вероятностей и математической статистике [Электронный ресурс]: учебник/ Прохоров Ю.В., Пономаренко Л.С.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2012.— 256 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13173>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

2. Дополнительная литература

4. 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: БГТУ, 2012.— 271 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/7003>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

5. Кацман Ю.Я. Теория вероятностей, математическая статистика и случайные процессы [Электронный ресурс]: учебник/ Кацман Ю.Я.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2013.— 131 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34722>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

6. Кибзун А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кибзун А.И., Горяинова Е.Р., Наумов А.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.— 233 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/25001>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

7. Кондаков Н.С. Основы численных методов [Электронный ресурс]: практикум/ Кондаков Н.С.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский гуманитарный университет, 2014.— 92 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/39690>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

8. Пантина И.В. Вычислительная математика [Электронный ресурс]: учебник/ Пантина И.В., Синчуков А.В.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский финансово-промышленный университет «Синергия», 2012.— 176 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17012>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

3. Периодические издания

9. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. : науч.-техн. и произв. журн. - Казань : Казанский гос. энергетический ун-т, (2010-2014), № 1 – 12. - ISSN 1998-9903.

10. Известия РАН. Энергетика. – М.: Наука, (2010-2014), № 1 – 6. - ISSN 0002-3310.

11. Промышленная энергетика. : произв.-техн. журн. - М. : НТФ "Энергопрогресс", (2010-2014), № 1 – 12. - ISSN 0033-1155.

4. Интернет-ресурсы

12. Бойко А.Ф. Теория планирования многофакторных экспериментов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Бойко А.Ф., Воронкова М.Н.— Электрон. текстовые данные.— Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2013.— 73 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28403>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

13. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Электронный ресурс]/ Кобзарь А.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012.— 816 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/24401>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

14. Лисьев В.П. Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Лисьев В.П.— Электрон. текстовые данные.— М.: Евразийский открытый институт, 2010.— 199 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/10857>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

15. 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

16. Основы современной энергетики. Том 1. Современная теплоэнергетика [Электронный ресурс]/ А.Д. Трухний [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2011.— 472 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33143>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

17. Планирование и организация эксперимента [Электронный ресурс]: методические указания к практическим занятиям для студентов, обучающихся по направлению подготовки 221700 «Стандартизация и метрология»/ — Электрон. текстовые данные / сост. Ермаков А.С. — М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2014.— 83 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/25512> .— ЭБС «IPRbooks», по паролю

5. Ресурсы информационно-образовательной среды

18. Математические методы экспериментальных исследований в теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс]: методические указания к

практическим занятиям для студентов, обучающихся по направлению подготовки 140100.62 «Теплоэнергетика и теплотехника»/ - Электрон. текстовые данные / сост. Серов Д.Ю. - Саратов: СГТУ, 2015.- 20 с.- Режим доступа: [19. Математические методы экспериментальных исследований в теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях \[Электронный ресурс\]: задания и методические рекомендации по их выполнению для самостоятельного изучения студентами направления подготовки 140100.62 «Теплоэнергетика и теплотехника»/ - Электрон. текстовые данные / сост. Серов Д.Ю. - Саратов: СГТУ, 2015.- 20 с.- Режим доступа: \[## **16. Материально-техническое обеспечение дисциплины**\]\(https://portal3.sstu.ru/Facult/EF/TE/13.03.01/TPEN_b4_b1322_1/DocLib/2.%20%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%BE-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B/2.2.%20%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%20%D0%A1%D0%A0%D0%A1/%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%A1%D0%A0%D0%A1.pdf.- ИОС СГТУ, по паролю</p></div><div data-bbox=\)](https://portal3.sstu.ru/Facult/EF/TE/13.03.01/TPEN_b4_b1322_1/DocLib/2.%20%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%BE-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B/2.1.%20%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8E%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85%20(%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85)%20%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D0%B9/%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F.pdf.- ИОС СГТУ, по паролю</p></div><div data-bbox=)

На лекциях, практических занятиях и при самостоятельной работе студентов используются следующие наглядные пособия, технические средства обучения и вычислительная техника:

- многовариантные задания для практических занятий и самостоятельной работы студентов;
- вычислительная техника;
- лицензионное программное обеспечение MS Excel 2003, MS Excel 2007, MS Visual Basic for Applications (входит в состав пакета MS Office);

- MS Power Point 2007 – для представления презентационного материала лекций;
- для создания тестов и проведения тестирования используется лицензионная тестовая система АСТ-тест.

Дополнительные информационные и учебные материалы размещены в информационно-образовательной среде на сайте СГТУ.