



Документ подписан с помощью электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Арженовский Алексей Григорьевич

Должность: И.о. директора института механики и энергетики имени В.П. Горячина

Дата подписания: 04.12.2025 13:13:35

Уникальный программный ключ:

3097683b38557fc8e27027e8e64c5f15ba3ab904

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –**  
**МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»**  
**(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)**

Институт механики и энергетики имени В.П. Горячина  
Кафедра электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И.А. Будзко

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. директора института механики  
и энергетики имени В.П. Горячина

А.Г. Арженовский

06

2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.0.02 МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

для подготовки магистров

ФГОС ВО

Направление: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Направленность: Энергообеспечение предприятий

Курс 1

Семестр 2

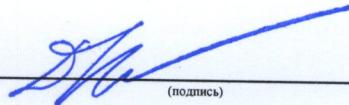
Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2025

Москва, 2025

Разработчики: Нормов Д.А., д.т.н., профессор

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

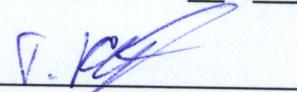


(подпись)

«16» июня 2025 г.

Кукушкина Т.С., ассистент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

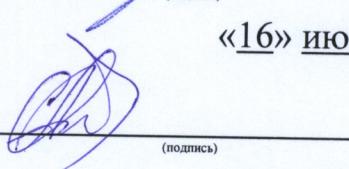


(подпись)

«16» июня 2025 г.

Рецензент: Андреев С.А., д.т.н., доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

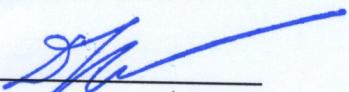
«16» июня 2025 г.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО, профессионального стандарта и учебного плана по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Программа обсуждена на заседании кафедры электроснабжения и теплоэнергетики им. академика И.А. Будзко, протокол № 17 от «16» июня 2025 г.

И.о. зав. кафедрой Нормов Д.А., д.т.н., профессор

(ФИО, ученая степень, ученое звание)



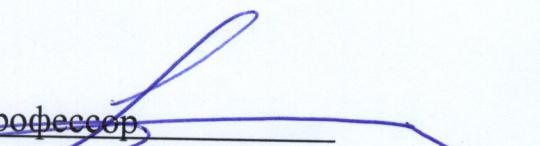
(подпись)

«16» июня 2025 г.

**Согласовано:**

Председатель учебно-методической комиссии института механики и энергетики имени В.П. Горячкина Дидманидзе О.Н., д.т.н., профессор

(ФИО, ученая степень, ученое звание)



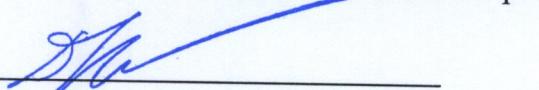
(подпись)

Протокол № 5 от «20» июня 2025 г.

И.о. заведующего выпускающей кафедрой «Электроснабжение и теплоэнергетика имени академика И.А. Будзко»

Нормов Д.А., д.т.н., профессор

(ФИО, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

«16» июня 2025 г.

Заведующий отделом комплектования ЦНБ



## СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация .....	4
<b>1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>4</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....</b>	<b>5</b>
<b>4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>14</b>
4.1 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ .....	14
4.2 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	14
4.3 ЛЕКЦИИ/ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ .....	16
<b>5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>19</b>
<b>6. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>20</b>
6.1. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ И НАВЫКОВ И (ИЛИ) ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	20
6.1.2. ТЕМАТИКА ПРИМЕРНЫХ ЗАДАЧ .....	21
6.1.3 ТЕКУЩЕЕ ТЕСТИРОВАНИЕ .....	23
6.1.4 ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ».....	26
6.1.5 ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЗАЧЕТ С ОЦЕНКОЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....	30
6.2. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ.....	32
<b>7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>34</b>
7.1 ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	34
7.2 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	35
7.3 НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ АКТЫ .....	36
7.4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ .....	37
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>37</b>
<b>9. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ.....</b>	<b>38</b>
<b>10. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ..</b>	<b>38</b>
<b>11. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>39</b>
Виды и формы отработки пропущенных занятий .....	41
<b>12. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....</b>	<b>41</b>

## **Аннотация**

**рабочей программы учебной дисциплины Б1.О.02 «Моделирование в теплоэнергетике» для подготовки магистра по направлению 13.04.01 – Техноэнергетика и теплотехника, направленности «Энергообеспечение предприятий»**

**Цель освоения дисциплины:** формирование у обучающегося знаний и практических навыков в области методологии исследований теплоэнергетических процессов и систем; изучение способов моделирования теплоэнергетических и технологических процессов с использованием современного программного обеспечения, выработка навыков у студентов самостоятельно формулировать задачи расчета и оптимизации систем и процессов промышленной теплоэнергетики (ПТ), а также умения применять численные методы для решения поставленных задач.

**Место дисциплины в учебном плане:** дисциплина включена в вариативную часть учебного плана по направлению подготовки 13.04.01 Техноэнергетика и теплотехника цикл Б1.О, дисциплина осваивается во 2 семестре.

**Требования к результатам освоения дисциплины:** в результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции: УК-4 (индикаторы достижения компетенций: УК-4.3), ОПК-2 (индикаторы достижения компетенций: ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3).

**Краткое содержание дисциплины:** Основные этапы численного моделирования. Численные методы решения алгебраических и трансцендентных уравнений Тема 3. Численные методы решения линейных уравнений и систем линейных уравнений. Численные методы решения систем нелинейных уравнений Методы приближения функций. Применение численных методов для моделирования теплоэнергетических и теплотехнических процессов. Численные методы и ЭВМ. Промышленная техника для применения Fluent. Численные методы и ЭВМ. Модели турбулентности.

**Общая трудоемкость дисциплины:** 5 зачетных единиц (180 часов).

**Промежуточный контроль:** зачет с оценкой, контрольная работа.

### **1. Цель освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины «Моделирование в теплоэнергетике» является освоение студентами теоретических и практических знаний в области методов проведения энергоаудита предприятий АПК и научиться определять количественные значения потребления и места потерь энергоресурсов на предприятии.

### **2. Место дисциплины в учебном процессе**

Дисциплина «Моделирование в теплоэнергетике» относится к формируемой участниками образовательных единиц Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана. Дисциплина «Моделирование в теплоэнергетике» реализуется в соответствии с требованиями ФГОС ВО, профессионального

стандарта, ОПОП ВО и Учебного плана по направлению 13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника направленности «Энергообеспечение предприятий».

Предшествующими дисциплинами являются курсы: Методология научных исследований (1 курс, 1 семестр); Основы педагогической деятельности (1 курс, 1 семестр).

Сопутствующими дисциплинами являются курсы: Моделирование в теплоэнергетике (1 курс, 2 семестр); Теория эксперимента (1 курс, 2 семестр); Возобновляемые и нетрадиционные источники энергии (1 курс, 2 семестр); Применение гидро- и теплотехнологий в АПК (1 курс, 2 семестр); Энергоаудит теплотехнического оборудования в АПК (1 курс, 2 семестр).

Данная дисциплина «Моделирование в теплоэнергетике» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: Современные проблемы теплоэнергетики, теплотехники и теплотехнологий (2 курс, 3 семестр); Надежность теплоэнергетических систем (2 курс, 3 семестр); Интеллектуальные системы в теплоэнергетике (2 курс, 3 семестр); Технико-экономическое обоснование и управление проектом в электроэнергетике (2 курс, 3 семестр); Проектирование теплоэнергетических систем (2 курс, 4 семестр).

Особенностью дисциплины «Моделирование в теплоэнергетике» является то, что сформированные компетенции у обучающихся на предшествующих курсах влияют на освоение компетенций обучающимися по данной дисциплине.

Рабочая программа дисциплины «Моделирование в теплоэнергетике» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

### **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся компетенций, представленных в таблице 1.

Таблица 1

**Требования к результатам освоения учебной дисциплины**

№ п/п	Код компет- енции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
1.	УК-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.3 Использует современные информационно-коммуникативные средства для коммуникации	современные информационно-коммуникационные технологии, применяемые в сфере теплоснабжения с использованием информационных технологий, в том числе с применением современных цифровых инструментов Fotor, SimInTech, Rutube и с применением цифровых технологий при решении профессиональных задач в учебно-методическом портале РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева sdo.timacad.ru	применять современные программные средства разработки технологической документации и управления технологическими процессами в сфере теплоснабжения; использовать информационно-коммуникационные технологии и специализированные программные продукты в профессиональной деятельности; оценивать направления развития отечественной и зарубежной практики, использовать их при работе по эксплуатации оборудования тепловых сетей	способностью использовать современные информационно-коммуникативные средства для коммуникации

№ п/п	Код компет- енции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
2.	ОПК-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ОПК-2.1 Выбирает необходимый метод исследования для решения поставленной задачи	математические формулировки основных законов и правил в области теплоэнергетики с использованием информационных технологий, в том числе с применением современных цифровых инструментов Fotor, SimInTech, Rutube и с применением цифровых технологий при решении профессиональных задач в учебно-методическом портале РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева <a href="http://sdo.timacad.ru">sdo.timacad.ru</a>	правильно и технически грамотно ставить и решать конкретные задачи в рассматриваемой области, в том числе посредством электронных ресурсов, официальных сайтов с требованиями стандартов с использованием современных цифровых инструментов (Google Jamboard, mts-link) и программных продуктов Excel, Word, PowerPoint, Pictochart и др., в том числе с использованием информационных технологий, в том числе с помощью современных программных продуктов (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, PowerPoint) и применять для	методами планирования и постановки задач математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования с применением цифровых технологий с помощью программных продуктов MS Office: Word, Excel, PowerPoint, Pictochart, в том числе обработки и интерпретации информации с помощью современных программных продуктов Excel, Power Point и осуществлять коммуникации посредством Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube

№ п/п	Код компет- енции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
				ускорения процесса передачи, обработки и интерпретации информации программные продукты Excel, Word, Power Point, Битрикс24, Webinar, Яндекс Телемост, Rutube		
		ОПК-2.2 Проводит анализ полученных результатов	анализ	- основные математические методы решения широкого круга задач, связанных с проектированием и режимами работы теплоэнергетического оборудования с использованием информационных технологий, в том числе с применением современных цифровых инструментов Fotor, SimInTech, Rutube и с применением цифровых технологий при решении профессиональных задач в учебно-методическом портале РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева sdo.timacad.ru; - технологии реализации	- применять современные средства и методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования, в том числе посредством электронных ресурсов, официальных сайтов с требованиями стандартов с использованием современных цифровых инструментов (Google Jamboard, mts-link) и программных продуктов Excel, Word,	анализом физических явлений в теплоэнергетических и теплотехнических системах, аппаратах и агрегатах с применением цифровых технологий с помощью программных продуктов MS Office: Word, Excel, PowerPoint, Pictochart, в том числе обработки и интерпретации информации с помощью современных программных продуктов Excel, Word,

№ п/п	Код компет- енции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
				<p>практических исследований, аналитические инструменты обработки информации с использованием информационных технологий, в том числе с применением современных цифровых инструментов Fotor, SimInTech, Rutube и с применением цифровых технологий при решении профессиональных задач в учебно-методическом портале РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева sdo.timacad.ru;</p> <p>- общие требования к оформлению результатов исследовательской деятельности с использованием информационных технологий, в том числе с применением современных цифровых инструментов Fotor, SimInTech, Rutube и с применением цифровых технологий при решении профессиональных задач в</p>	<p>PowerPoint, Pictochart и др., в том числе с использованием информационных технологий, в том числе с помощью современных программных продуктов (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint) и применять для ускорения процесса передачи, обработки и интерпретации информации программные продукты Excel, Word, Power Point, Битрикс24, Webinar, Яндекс Телемост, Rutube;</p> <p>- оформлять и представлять результаты проведённой исследовательской работы, в том числе посредством электронных ресурсов,</p>	<p>Power Point и осуществлять коммуникации посредством Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube</p>

№ п/п	Код компет- енции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
				учебно-методическом портале РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева sdo.timacad.ru	официальных сайтов с требованиями стандартов с использованием современных цифровых инструментов (Google Jamboard, mts-link) и программных продуктов Excel, Word, PowerPoint, Pictochart и др., в том числе с использованием информационных технологий, в том числе с помощью современных программных продуктов (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint) и применять для ускорения процесса передачи, обработки и интерпретации информации программные продукты Excel, Word, Power Point, Битрикс24, Webinar,	

№ п/п	Код компет- енции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
				Яндекс Телемост, Rutube; -формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, в том числе посредством электронных ресурсов, официальных сайтов с требованиями стандартов с использованием современных цифровых инструментов (Google Jamboard, mts-link) и программных продуктов Excel, Word, PowerPoint, Pictochart и др., в том числе с использованием информационных технологий, в том числе с помощью		

№ п/п	Код компет- енции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
				современных программных продуктов (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint) и применять для ускорения процесса передачи, обработки и интерпретации информации программные продукты Excel, Word, Power Point, Битрикс24, Webinar, Яндекс Телемост, Rutube		
		ОПК-2.3 Представляет результаты выполненной работы	- основные источники научно-технической информации по математическому и физическому моделированию и программным средствам моделирования с использованием информационных технологий, в том числе с применением современных цифровых инструментов Fotor, SimInTech, Rutube и	составлять отчёт по результатам поиска научно-технической информации, в том числе посредством электронных ресурсов, официальных сайтов с требованиями стандартов с использованием современных цифровых инструментов (Google Jamboard, mts-link) и	методы оценки технической эффективности объектов профессиональной деятельности и навыки математического обоснования этих методов; способность представлять результаты выполненной работы	

№ п/п	Код компет- енции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
				<p>с применением цифровых технологий при решении профессиональных задач в учебно-методическом портале РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева <a href="http://sdo.timacad.ru">sdo.timacad.ru</a>;</p> <p>- способы представления принятых решений и полученных результатов с использованием информационных технологий, в том числе с применением современных цифровых инструментов Fotor, SimInTech, Rutube и с применением цифровых технологий при решении профессиональных задач в учебно-методическом портале РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева <a href="http://sdo.timacad.ru">sdo.timacad.ru</a></p>	<p>программных продуктов Excel, Word, PowerPoint, Pictochart и др., в том числе с использованием информационных технологий, в том числе с помощью современных программных продуктов (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint) и применять для ускорения процесса передачи, обработки и интерпретации информации</p> <p>программные продукты Excel, Word, PowerPoint, Битрикс24, Webinar, Яндекс Телемост, Rutube</p>	<p>в виде отчёта с его защитой</p>

## 4. Структура и содержание дисциплины

### 4.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. (180 часов), их распределение по видам работ семестрам представлено в таблице 2.

Таблица 2

#### Распределение трудоёмкости дисциплины в семестре

Вид учебной работы	Трудоёмкость, час.
	№ 2
<b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану	<b>180</b>
<b>1. Контактная работа:</b>	<b>54,35</b>
<b>Аудиторная работа</b>	<b>54,35</b>
<i>в том числе:</i>	
лекции (Л)	18
практические занятия (ПЗ)	36
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	0,35
<b>2. Самостоятельная работа (СРС)</b>	<b>125,65</b>
контрольная работа (РР) (подготовка)	40,65
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к практическим занятиям и т.д.)	50
Подготовка к зачёту с оценкой (контроль)	35
Вид промежуточного контроля	зачёт с оценкой

### 4.2 Содержание дисциплины

Таблица 3

#### Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплин (укрупнённо)	Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа СР
		Л	ПЗ	КРА	
<b>Раздел 1. Численные методы моделирования процессов и аппаратов промышленной теплоэнергетики</b>	66	14	27		25
<b>Раздел 2. Численное моделирование задач промышленной техники (ПТ) с помощью программ</b>	38	4	9		25
Контрольная работа (Кр) (подготовка)	40,65				40,65
Подготовка к зачёту с оценкой (контроль)	35				35
Контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	0,35			0,35	
<b>Всего за 2 семестр</b>	<b>180</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>0,35</b>	<b>125,65</b>
<b>Итого по дисциплине</b>	<b>180</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>0,35</b>	<b>125,65</b>

#### Раздел 1. Численные методы моделирования процессов и аппаратов промышленной теплоэнергетики

##### Тема 1. Основные этапы численного моделирования

Математическое и физическое моделирование. Сравнительная характеристика и основные этапы математического и физического

моделирования. Численные методы и их значение при математическом моделировании. Погрешности, возникающие при численном моделировании. Вычисление погрешностей расчетов по методу границ. Вероятностные и эмпирические методы оценки ошибок вычислений.

## **Тема 2. Численные методы решения алгебраических и трансцендентных уравнений**

Отделение корней алгебраических и трансцендентных уравнений. Алгоритм решения задачи: отделения корней уравнения. Уточнение корня уравнения методом половинного деления.

## **Тема 3. Численные методы решения линейных уравнений и систем линейных уравнений**

Метрические пространства и принцип сжимающих отображений. Алгоритм решения линейного уравнения методом простой итерации. Скорость сходимости итерационного процесса. Методы решения линейных уравнений: метод хорд; метод касательных. Погрешности численных методов при решении линейных уравнений. Метод простой итерации для решения уравнения  $F(x)=0$ . Алгоритм решения системы линейных уравнений методом простой итерации. Метод Зейделя.

## **Тема 4. Численные методы решения систем нелинейных уравнений**

Алгоритм метода простой итерации при решении системы нелинейных уравнений. Применение метода Ньютона при решении системы нелинейных уравнений. Оценка погрешностей, возникающих при решении систем нелинейных уравнений.

## **Тема 5. Методы приближения функций**

Постановка задачи аппроксимации функции. Существование и единственность интерполяционного многочлена. Интерполяционный многочлен Лагранжа. Построение таблицы конечных разностей. Первая и вторая интерполяционные формулы Ньютона. Постановка задачи обратного интерполирования функции.

## **Тема 6. Применение численных методов для моделирования теплоэнергетических и теплотехнических процессов**

Естественнонаучные процессы, лежащие в основе явлений и процессов, применяемых при создании и эксплуатации объектов теплоэнергетики и в теплотехнологиях. Использование численных методов при моделировании этих процессов и явлений. Применение численных методов для решения стационарных и нестационарных задач теплопроводности.

## **Тема 7. Численные методы и ЭВМ**

Применение численных методов для моделирования систем ПТ. Численные методы и ЭВМ. Погрешность вычислений. Численное моделирование сложных систем. Системный подход и системный анализ. Этапы системного анализа.

## **Раздел 2. Численное моделирование задач промышленной техники (ПТ) с помощью программ**

### **Тема 8. Промышленная техника для применения Fluent**

Область задач ПТ для применения Fluent. Численные методы, используемые в Fluent. Численное решение системы дифференциальных

уравнений. Задание исходных данных и геометрических размеров каналов течения теплоносителя.

### Тема 9. Модели турбулентности

Границные условия. Модели турбулентности. Моделирование турбулентных течений несжимаемой жидкости и вязкого теплопроводного газа.

### 4.3 Лекции/практические занятия

Таблица 4

#### Содержание лекций/практических занятий и контрольные мероприятия

№ п/п	Название раздела, темы	№ и название лекций/практических занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол- во часов
1.	<b>Раздел 1. Численные методы моделирования процессов и аппаратов промышленной теплоэнергетики</b>			<b>41</b>	
	<b>Тема 1</b> <i>Основные этапы численного моделирования</i>	<b>Лекция № 1</b> Математическое и физическое моделирование. Сравнительная характеристика и основные этапы математического и физического моделирования. Численные методы и их значение при математическом моделировании. Погрешности, возникающие при численном моделировании	УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3)	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
	<b>Тема 2</b> <i>Численные методы решения алгебраических и трансцендентных уравнений</i>	<b>Лекция № 2</b> Отделение корней алгебраических и трансцендентных уравнений	УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3)	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
		<b>Практическое занятие № 1</b> Аппроксимация характеристики нагнетательной установки по методу наименьших квадратов (расчет и представление результатов с использованием информационных технологий в рабочей тетради (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))		Защита практической работы № 1 (решение задач Office: Word, Excel) (sdo.timacad.ru)	9

№ п/п	Название раздела, темы	№ и название лекций/практических занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол- во часов
	<b>Тема 3</b> <i>Численные методы решения линейных уравнений и систем линейных уравнений</i>	<b>Лекция № 3</b> Алгоритм решения линейного уравнения методом простой итерации. Методы решения линейных уравнений: метод хорд; метод касательных. Погрешности численных методов при решении линейных уравнений. Алгоритм решения системы линейных уравнений методом простой итерации. Метод Зейделя	УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК- 2.3)	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
		<b>Практическое занятие № 2</b> Определение рабочей точки насосной установки (расчет и представление результатов с использованием информационных технологий в рабочей тетради (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))		Защита практической работы № 2 (решение задач Office: Word, Excel) (sdo.timacad.ru)	9
	<b>Тема 4</b> <i>Численные методы решения систем нелинейных уравнений</i>	<b>Лекция № 4</b> Алгоритм метода простой итерации при решении системы нелинейных уравнений. Применение метода Ньютона при решении системы нелинейных уравнений. Оценка погрешностей, возникающих при решении систем нелинейных уравнений	УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК- 2.3)	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
	<b>Тема 5</b> <i>Методы приближения функций</i>	<b>Лекция № 5</b> Постановка задачи аппроксимации функции. Постановка задачи обратного интерполяирования функции	УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК- 2.3)	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
	<b>Тема 6</b> <i>Применение численных методов для моделирования теплоэнергети- ческих и теплотехничес- ких процессов</i>	<b>Лекция № 6</b> Использование численных методов при моделировании этих процессов и явлений. Применение численных методов для решения стационарных и нестационарных задач теплопроводности	УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК- 2.3)	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2

№ п/п	Название раздела, темы	№ и название лекций/практических занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол- во часов
	<b>Тема 7</b> <i>Численные методы и ЭВМ</i>	<b>Лекция № 7</b> Применение численных методов для моделирования систем ПТ. Численные методы и ЭВМ. Погрешность вычислений. Численное моделирование сложных систем. Системный подход и системный анализ. Этапы системного анализа	УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3)	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
		<b>Практическое занятие № 3</b> Расчет на ЭВМ характеристики сети насосной установки (расчет и представление результатов с использованием информационных технологий в рабочей тетради (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))		Защита практической работы № 3 (решение задач Office: Word, Excel) (sdo.timacad.ru)	9
2.	<b>Раздел 2. Численное моделирование задач промышленной техники (ПТ) с помощью программ</b>				13
	<b>Тема 8</b> <i>Промышленная техника для применения Fluent</i>	<b>Лекция № 8</b> Область задач ПТ для применения Fluent. Численные методы, используемые в Fluent. Численное решение системы дифференциальных уравнений	УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3)	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
		<b>Практическое занятие № 4</b> Численное моделирование задач ПТ с помощью программы Ansys (расчет и представление результатов с использованием информационных технологий в рабочей тетради (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))		Защита практической работы № 4 (решение задач Office: Word, Excel) (sdo.timacad.ru)	9
	<b>Тема 9</b> <i>Модели турбулентнос- ти</i>	<b>Лекция № 9</b> Граничные условия. Модели турбулентности. Моделирование турбулентных течений несжимаемой жидкости и вязкого теплопроводного газа	УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3)	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2

Таблица 5

**Перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины**

№ п/п	Название раздела, темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
<b>Раздел 1. Численные методы моделирования процессов и аппаратов промышленной теплоэнергетики</b>		
1.	<b>Тема 1</b> <i>Основные этапы численного моделирования</i>	Понятие математического и физического моделирования. Сравнительная характеристика и основные этапы математического и физического моделирования (УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3))
2.	<b>Тема 3</b> <i>Численные методы решения линейных уравнений и систем линейных уравнений</i>	Алгоритм решения линейного уравнения методом простой итерации. Скорость сходимости итерационного процесса (УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3))
3.	<b>Тема 4</b> <i>Численные методы решения систем нелинейных уравнений</i>	Алгоритм метода простой итерации при решении системы нелинейных уравнений (УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3))
4.	<b>Тема 6</b> <i>Применение численных методов для моделирования теплоэнергетических и теплотехнических процессов</i>	Естественнонаучные процессы, лежащие в основе явлений и процессов, применяемых при создании и эксплуатации объектов теплоэнергетики и в теплотехнологиях (УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3))

**5. Образовательные технологии**

Таблица 6

**Применение активных и интерактивных образовательных технологий**

№ п/п	Тема и форма занятия	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	
1.	<b>Тема 1.</b> Основные этапы численного моделирования	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
2.	<b>Тема 2.</b> Численные методы решения алгебраических и трансцендентных уравнений	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ПЗ	Бригадно-практический метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа студентов с учебно-методическим порталом, электронными ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))
3.	<b>Тема 3.</b> Численные методы решения линейных уравнений и систем линейных уравнений	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ПЗ	Бригадно-практический метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа студентов с учебно-методическим порталом, электронными

№ п/п	Тема и форма занятия	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	
		ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))	
4.	Тема 4. Численные методы решения систем нелинейных уравнений	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
5.	Тема 5. Методы приближения функций	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
6.	Тема 6. Применение численных методов для моделирования теплоэнергетических и теплотехнических	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
7.	Тема 7. Численные методы и ЭВМ	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ПЗ	Бригадно-практический метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа студентов с учебно-методическим порталом, электронными ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))
8.	Тема 8. Промышленная техника для применения Fluent	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ПЗ	Бригадно-практический метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа студентов с учебно-методическим порталом, электронными ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))
9.	Тема 9. Модели турбулентности	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов

## 6. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины

### 6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности

#### 6.1.3 Вопросы для подготовки к устному опросу на практических занятиях (текущий контроль)

Предусмотренные учебным планом практические занятия направлены на практическое закрепление теоретического материала дисциплины «Моделирование в теплоэнергетике». Отчеты по результатам практических занятий представляются в рабочей тетради учебной дисциплины с записями в виде ответов на поставленные вопросы, результатами расчетов, обработанных

результатов измерений, графических материалов, выводов. Пример вопросов при проведении практического занятия № 2 приведен ниже.

**ЗАДАНИЕ:** предоставить в рабочей тетради Microsoft Excel, Word, PowerPoint. на учебно-методическом портале РГАУ-МСХА <https://sdo.timacad.ru/>

**Вопросы к устному опросу на практическом занятии № 2 «Определение рабочей точки насосной установки»**

1. Как проверить, правильно ли выбрана рабочая точка?
2. Можно ли изменить рабочую точку насоса?
3. Что делать, если насос работает с перегрузкой?
4. Как влияет вязкость жидкости на рабочую точку?
5. Какие типы насосов лучше всего подходят для вязких жидкостей?

#### **6.1.2. Тематика примерных задач**

**ЗАДАНИЕ:** представить результаты в таблице Microsoft Excel, Word, PowerPoint на учебно-методическом портале РГАУ-МСХА <https://sdo.timacad.ru/>.

**Задача 1. Обработка и представление экспериментальных данных**

При исследовании режимов работы теплоэнергетических систем и оборудования проводятся испытания и статистические наблюдения, которые, как правило, представляются в виде массивов данных, таблиц, номограмм и графиков. При этом возникает проблема представления этих данных в виде математических зависимостей типа  $y = f(x)$ , т.е. в виде математической модели. Такая аналитическая форма зависимостей позволяет не только проводить анализ происходящих процессов в теплоэнергетическом оборудовании, но и производить оптимизацию режимов работы и конструктивных особенностей оборудования, а также решать задачи автоматизации процессов и их численного исследования.

В промышленной теплоэнергетике экспериментальные исследования сводятся в основном к решению следующих типов задач:

- обработка данных прямых и косвенных измерений;
- построению интерполяционных формул (т. е. формул, определяющих эмпирические зависимости между параметрами объекта в исследуемой области значений);
- поиску оптимальных условий (экстремальный эксперимент);
- отсеиванию несущественных факторов (факторный анализ);
- уточнению констант в аналитически полученных зависимостях.

В данном практическом занятии рассматриваются обработка данных прямых измерений.

**Методические указания и содержание отчета**

Алгоритм обработки данных прямых измерений по выборке экспериментальных данных.

Устранить из выборки очевидные промахи (описки).

Из результатов измерений исключить известные систематические погрешности.

Упорядочить выборку в порядке возрастания ее элементов.

Определить выборочное среднее  $\bar{x}$  по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}$$

где  $N$  – количество измерений,  $x$  – значения измерений.

Определить выборочное среднеквадратичное отклонение (СКО) результата наблюдения от среднего:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Провести проверку выборки на наличие грубых по-грешностей и ее связность двумя способами:

а) по размаху выборки:

$$|x_{i+1} - x_i| < U_{p,N} R, \quad i=1 \dots N-1$$

где  $R = x_{max} - x_{min}$  – размах выборки; коэффициент  $U_{p,N}$  – из приложения 1.

б) на наличие грубых погрешностей по отклонению наиболее отстоящего результата наблюдения  $x_1$  от среднего  $\bar{x}$ :

$$|x_1 - \bar{x}| > v_{p,N} S_x,$$

Коэффициент  $v_{p,N}$  определяется из приложения 1.

Вычислить выборочное СКО среднего:

$$S_{\bar{x}} = S_x \sqrt{\frac{1}{N}}$$

Задаться доверительной вероятностью  $P$  в диапазоне (0.9...0.99). Как правило, для технических приложений (в том числе в данном курсе) принято выбирать  $P=0.95$ .

Определить случайную погрешность по формуле:

$$\Delta x = t_{p,N} S_{\bar{x}}$$

где  $t_{p,N}$  – коэффициент Стьюдента. Значения данного коэффициента приведены в приложении 5.1.

Определить оценочное значение случайной погрешности по размаху выборки:

$$\Delta x = \beta_{p,N} R,$$

Коэффициент  $\beta_{p,N}$  определяется из приложения 1.

Значения случайных погрешностей, рассчитанные разными способами, должны примерно совпадать.

Определить полную погрешность результата измерения:

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{\Delta x^2 + \theta_x^2}$$

где  $\theta_x$  – приборная погрешность, приведена в исходных данных.

Вычислить относительную погрешность

$$\delta x = (\Delta x / \bar{x}) \cdot 100 \%,$$

Округлить числовые значения полной погрешности и результата измерения.

Записать окончательный результат в виде:

$$x = \bar{x} \pm \Delta \bar{x}, \quad P = P_0, \quad \delta_x = \Delta \bar{x} / \bar{x} \cdot 100 \%$$

Исходные данные для обработки прямых измерений приведены в приложении 1.

**Обработка данных прямых измерений**

Таблица 1 – Исходные данные

№	1	2	3	4	5	6	7	8	θх
1	10,2	10,8	11,0	12,1	10,6	10,4	10,3	10,1	0,4
2	7,0	7,2	6,8	8,4	7,3	7,6	7,2	7,5	0,2
3	16,0	16,2	18,2	16,4	16,6	15,6	15,8	15	0,2
4	26,6	25,8	26,0	25,4	26,4	26,2	27	24	0,4
5	7,138	8,342	7,144	7,139	7,140	7,141	7,146	7,14	0,008
6	6,54	6,538	6,548	7,288	6,548	6,542	6,545	6,5	0,005
7	4,252	4,248	4,256	4,250	5,856	4,260	4,2	4,3	0,004
8	3,83	3,722	3,777	3,795	3,811	4,244	3,804	3,78	0,005
9	1,51	1,518	1,532	1,520	2,222	1,528	1,522	1,4	0,006
10	10,56	11,882	10,611	10,532	10,56	10,572	10,6	10,8	0,08
11	2,48	2,56	2,50	2,662	2,244	2,54	3,12	2,52	0,05
12	5,42	5,462	5,552	5,550	5,480	6,846	5,560	5,5	0,008
13	42,64	42,36	42,54	42,77	43,10	32,84	42,48	42,2	0,05
14	2,576	2,522	2,664	2,588	1,862	2,342	2,664	2,5	0,004
15	1,54	1,532	1,480	1,502	1,512	1,522	1,244	1,46	0,005

Таблица 2 – Значения коэффициентов Стьюдента  $t_{P,N}$  в зависимости от числа наблюдений N при доверительной вероятности Р = 95 %

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	100
$t_{P,N}$	12.7	4.3	3.2	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.3	2.0

**Коэффициент Стьюдента**Таблица 3 – Коэффициенты  $\beta_{P,N}$  для расчета доверительной погрешности при доверительной вероятности Р = 95 %

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\beta_{P,N}$	1.30	0.72	0.51	0.40	0.33	0.29	0.25	0.23	0.21	0.19

Таблица 4 – Коэффициенты  $u_{P,N}$  для проверки результатов наблюдений на наличие грубых погрешностей в зависимости от объема выборки N для доверительной вероятности Р = 95 %:

N	3	4	5	7	10	15	20	30	100
$u_{P,N}$	0.94	0.76	0.64	0.51	0.41	0.34	0.30	0.26	0.20

Таблица 5 – Коэффициенты  $v_{P,N}$  для проверки элементов выборки на наличие грубых погрешностей в зависимости от объема выборки N при доверительной вероятности Р = 95 %

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$v_{P,N}$	1.15	1.46	1.67	1.82	1.94	2.03	2.11	2.18	2.23	2.29

**6.1.3 Текущее тестирование**

Необходимо для оценки текущей успеваемости и усвоемости изучаемого студентами материала и предполагает проведение двух тестирований. Тестирование проводится письменно на 7 и 14 неделях учебного семестра. Выдержки из примерных билетов тестовых заданий представлены ниже.

Формируемые компетенции: УК-4 (УК-4.3), ОПК-2 (ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3).

**ЗАДАНИЕ:** выполняется на учебно-методическом портале РГАУ-МСХА  
<https://sdo.timacad.ru/>

**1. Что такое моделирование в теплоэнергетике?**

- 1) Процесс создания моделей для анализа тепловых процессов.
- 2) Метод управления тепловыми системами.
- 3) Способ повышения эффективности энергетических установок.
- 4) Технология производства электроэнергии.

**2. Какова основная цель моделирования в теплоэнергетике?**

- 1) Оптимизация тепловых процессов.
- 2) Увеличение затрат на энергию.
- 3) Снижение эффективности систем.
- 4) Создание новых технологий.

**3. Какие методы используются в моделировании теплоэнергетических систем?**

- 1) Численные методы и аналитические подходы
- 2) Только аналитические методы.
- 3) Только численные методы.
- 4) Методы случайных процессов.

**4. Какое значение имеет моделирование для проектирования теплоэнергетических установок?**

- 1) Позволяет предсказать поведение систем.
- 2) Увеличивает время проектирования.
- 3) Снижает качество проектирования.
- 4) Не имеет значения.

**5. Как моделирование влияет на эффективность теплоэнергетических систем?**

- 1) Увеличивает эффективность.
- 2) Снижает эффективность.
- 3) Не влияет на эффективность.
- 4) Увеличивает затраты.

**6. Какова основная цель численных методов в теплоэнергетике?**

- 1) Оптимизация процессов.
- 2) Моделирование процессов.
- 3) Увеличение производительности.
- 4) Снижение затрат.

**7. Какие аппараты рассматриваются в документе?**

- 1) Теплообменники.
- 2) Котлы.
- 3) Турбины.
- 4) Все вышеперечисленные.

**8. Какой метод используется для решения задач в теплоэнергетике?**

- 1) Графический метод.
- 2) Численный метод.
- 3) Экспериментальный метод.

- 4) Аналитический метод.
9. **Что является важным аспектом моделирования процессов?**

  - 1) Точность расчетов.
  - 2) Скорость выполнения.
  - 3) Простота использования.
  - 4) Доступность данных.

**10. Какой из следующих факторов не влияет на эффективность теплоэнергетических процессов?**

- 1) Температура.
- 2) Давление.
- 3) Скорость потока.
- 4) Цвет аппарата.

**11. Какое основное применение численного моделирования в промышленной технике?**

- 1) Оптимизация процессов.
- 2) Создание новых материалов.
- 3) Управление персоналом
- 4) Финансовый анализ.

**12. Какие программы чаще всего используются для численного моделирования?**

- 1) Графические редакторы.
- 2) Системы CAD.
- 3) Текстовые процессоры.
- 4) Электронные таблицы.

**13. Какой метод численного моделирования наиболее распространен?**

- 1) Метод конечных элементов.
- 2) Метод Монте-Карло.
- 3) Метод линейного программирования.
- 4) Метод статистического анализа.

**14. Какое преимущество имеет численное моделирование перед экспериментами?**

- 1) Снижение затрат.
- 2) Увеличение времени.
- 3) Сложность реализации.
- 4) Необходимость в большом количестве ресурсов.

**15. Какой аспект численного моделирования является критически важным для его успешного применения?**

- 1) Точность расчетов.
- 2) Скорость выполнения.
- 3) Простота интерфейса.
- 4) Доступность программного обеспечения.

**16. Что такое численные методы?**

- 1) Методы для решения алгебраических уравнений.
- 2) Методы для численного решения математических задач.
- 3) Методы для анализа данных.
- 4) Методы для программирования.

**17. Какую роль играют ЭВМ в численных методах?**

- 1) Ускоряют процесс вычислений.
- 2) Упрощают написание кода.
- 3) Увеличивают количество ошибок.
- 4) Не имеют никакого влияния.

**18. Какой из следующих методов является численным?**

- 1) Метод Гаусса.
- 2) Метод Ньютона.
- 3) Метод Монте-Карло.
- 4) Метод интегрирования.

**19. Каковы основные преимущества численных методов?**

- 1) Точность и скорость.
- 2) Простота и доступность.
- 3) Гибкость и универсальность.
- 4) Все вышеперечисленное.

**20. Какой из следующих аспектов не относится к численным методам?**

- 1) Анализ данных.
- 2) Моделирование процессов.
- 3) Теоретическое обоснование.
- 4) Вычисления.

**6.1.4 Примерная тематика контрольных работ по дисциплине  
«Моделирование в теплоэнергетике»**

**ЗАДАНИЕ:** представлено на учебно-методическом портале РГАУ-МСХА  
<https://sdo.timacad.ru/>

**Контрольная работа 1.** Для выполнения комплекса работ на предприятии разработан сетевой график реализации данного комплекса с указанием номеров работы (рисунок 1); определены длительности каждой работы и требуемые для реализации каждой работы людские ресурсы – таблица 1.

Необходимо произвести расчет сетевого графика и оптимизировать распределение ресурсов, выделенных на выполнение каждой работы в рамках всего комплекса работ.

В задаче предполагается, что ресурсы каждой работы пропорциональны ее длительности, то есть, если длительность работы составляет 10 единиц времени, то и используемый для выполнения этой работы людской ресурс также составляет 10 работников.

Исходные данные для контрольной работы выбираются по двум последним цифрам шифра студента: по последней цифре – номер варианта сетевого графика (рисунок 1), по предпоследней цифре – номер варианта длительности работ сетевого графика – таблица 1.

Методические указания к выполнению контрольной работы № 1.

При выполнении контрольной работы рекомендуется следующий порядок ее выполнения:

1) Исходя из индивидуального шифра студента, выбрать номер схемы и вариант длительности работ для данной схемы.

2) Произвести расчет сетевого графика, определить критический путь на графике.

3) Построить масштабный сетевой график по одному из принципов: если последняя цифра шифра студента четная - раннего начала работ, если нечетная – принципу «финансиста».

4) Согласно построенному масштабному сетевому графу разработать график распределения ресурсов.

5) Провести оптимизацию полученного графика распределения ресурсов, используя принцип «управленца»: освободить начало и окончание комплекса работ, не допускать резких скачков в использовании ресурса.

6) Оформить работу в соответствии с требованиями по оформлению контрольных работ, включая следующие моменты:

а) кратко теоретически описать исследуемый процесс (цель моделирования, методика определения критического пути, принципы построения масштабного сетевого графика);

б) начертить исходную сетевую модель, указав на ней все параметры событий и работ, а также критический путь;

в) построить масштабный сетевой график и график распределения ресурсов по принципу либо раннего начала работ либо «финансиста»;

г) произвести оптимизацию масштабного графика и графика распределения ресурсов (при необходимости начертить несколько масштабных графиков и графиков распределения ресурсов).

Таблица 1 – Исходные данные для выполнения работы

Номер работы	Варианты длительности работ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	7	3	5	7	9	6	4	2	3	4
2	4	8	5	7	5	7	9	6	15	7
3	6	4	9	3	6	12	7	3	6	14
4	3	1	2	5	4	5	6	7	8	9
5	12	11	13	14	9	6	7	7	8	9
6	3	17	4	5	6	13	8	5	9	11
7	0	14	5	6	7	14	5	0	9	0
8	5	3	4	5	6	7	8	12	4	6
9	3	4	2	6	7	8	8	6	0	18
10	10	7	8	11	2	34	5	14	6	7
11	7	23	6	17	14	13	12	13	12	15
12	12	22	23	24	4	12	21	23	20	23
13	3	4	5	6	8	8	9	11	9	6
14	4	0	9	8	7	6	15	6	7	8
15	6	16	7	0	9	0	9	0	8	7
16	8	3	4	15	6	17	8	9	0	8
17	5	9	8	7	6	5	4	14	3	14
18	6	2	12	23	32	12	14	15	16	12
19	3	8	7	6	15	4	6	7	8	19
20	7	7	5	4	7	8	9	9	6	5

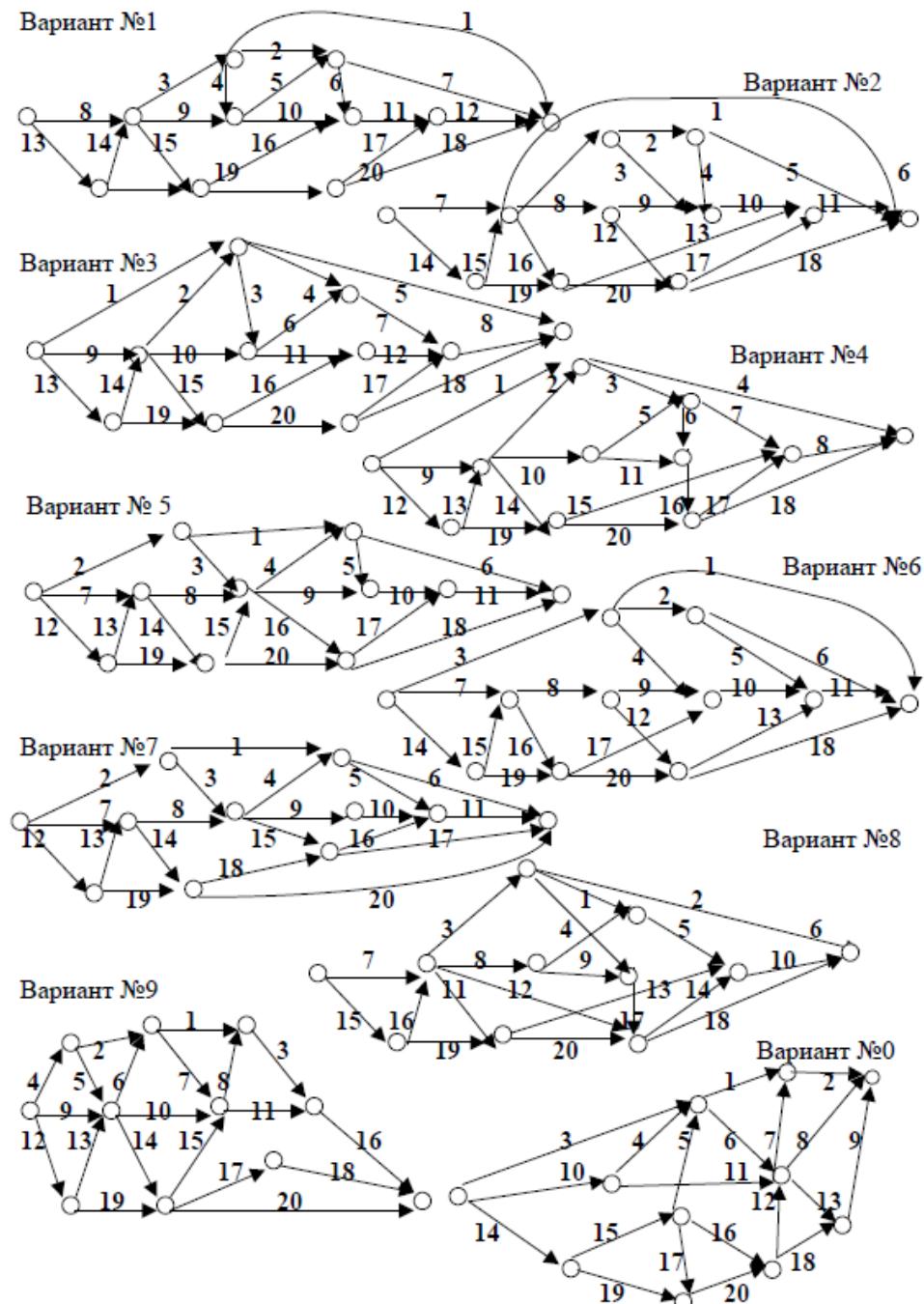


Рисунок 1

**Контрольная работа 2.** Имеются два склада с запасами однородных материальных средств в количествах  $a_1$  и  $a_2$ ; имеются шесть потребителей этих материальных средств с потребностями, соответственно,  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ ; известны расстояния между складами и потребителями, в километрах (таблица 4); запасы на складах, потребность потребителей, количество автомобилей по списку в автопредприятии и КТГ автомобилей – таблица 5. Однако не известно точное время начала вывоза запасов.

Требуется спланировать вывоз материальных средств (МС) со складов так, чтобы их время вывоза было минимальным – т.е. определить минимальное время вывоза запасов МС со складов.

Учитывая, что количество исправных автомобилей в произвольный момент времени является величиной случайной, требуется определить

вероятностную характеристику времени вывоза запасов в зависимости от количества исправных автомобилей. Другими словами, требуется определить функцию распределения вероятности времени вывоза запасов МС со складов потребителям в зависимости от наличия исправных автомобилей в автомобильном предприятии.

Коэффициенты условий движения для всех маршрутов принять: если длина маршрута не превосходит 20 км – 1,1; не более 30 – 1,2; не более 40 – 1,4; более 40 – 1,6.

Время погрузки на складах: если запасы на складах больше потребности потребителей – 1,5, если равны – 1,4, если меньше – 1,3 часа.

Время разгрузки на складах потребителей: если количество разгружаемых материальных средств менее 100 тонн – 1,1; менее 200 – 1,2; менее 300 – 1,3 часа, далее увеличивается с увеличением на каждые 100 тонн на 0,1 часа.

Среднюю грузоподъемность автомобилей принять для всех вариантов равной 5,5 тонны, а скорость движения – 35 км/ч.

Таблица 2 – Исходные данные для выполнения работы

Варианты	Склады	Потребители					
		B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	A1	15	35	21	33	27	28
	A2	24	25	27	18	26	23
2	A1	25	33	28	45	23	27
	A2	34	52	23	28	16	22
3	A1	28	19	28	25	28	27
	A2	32	54	33	38	36	29
4	A1	15	21	18	15	13	27
	A2	26	22	13	18	16	12
5	A1	24	25	27	18	26	23
	A2	25	33	28	45	23	27
6	A1	24	25	27	19	28	23
	A2	25	33	28	54	33	27
7	A1	34	52	23	21	18	22
	A2	28	19	28	22	13	27
8	A1	35	34	18	25	27	37
	A2	24	32	29	33	28	22
9	A1	19	19	28	25	28	27
	A2	54	54	33	38	36	32
0	A1	21	21	18	15	13	17
	A2	22	22	13	18	16	22

Таблица 3

№ вариантов	Запасы на складах, т		Потребности потребителей, т						К-во а/м, N	КТГ
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>		
1	700	800	330	350	320	230	220	240	50	0,70
2	720	870	250	250	340	190	330	250	55	0,65
3	800	570	280	50	320	220	340	180	40	0,75
4	720	760	210	170	300	400	220	80	68	0,70

№ вари- антов	Запасы на складах, т		Потребности потребителей, т						К-во а/м, N	КТГ
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>		
5	750	780	100	280	450	230	220	210	77	0,70
6	820	880	290	410	420	250	170	160	58	0,65
7	670	830	190	210	200	300	380	130	67	0,75
8	730	760	220	220	320	220	340	180	64	0,70
9	580	880	400	320	250	200	300	400	53	0,70
0	980	360	250	220	180	380	130	210	45	0,65

Исходные данные для контрольной работы выбираются по двум последним цифрам шифра студента: по последней цифре – расстояния между складами и потребителями (табл. 4), по предпоследней цифре – запасы материальных средств на складах, потребность потребителей, количество автомобилей в автомобильном предприятии по списку, коэффициент технической готовности автомобилей на автомобильном предприятии (табл. 3).

**Контрольная работа № 2** решается с использованием ЭВМ. Для этого используются программы: transp.exe - для решения транспортной задачи линейного программирования, dptr-4.exe – для решения задачи динамического программирования и используется стандартный табличный процессор Excel – для определения и отображения в графическом режиме плотности распределения и функции распределения времени вывоза запасов со складов в зависимости от количества автомобилей в автопредприятии и их технической готовности.

#### 6.1.5 Перечень вопросов, выносимых на зачет с оценкой по дисциплине

1. Что такое математическое моделирование и как оно применяется в исследованиях теплоэнергетических процессов?
2. Какие этапы разработки математических моделей для теплоэнергетических объектов?
3. Как в теплоэнергетике используются дифференциальные балансовые соотношения и дифференциальная форма законов явлений переноса?
4. Какие виды математических моделей применяются в теплоэнергетике: с сосредоточенными параметрами (системы обыкновенных дифференциальных уравнений) или с распределёнными параметрами (системы дифференциальных уравнений с частными производными)?
5. Какие методы решения задач тепломассообмена и гидродинамики применяются в теплоэнергетике?
6. Какие методы расчёта теплотехнических систем разделяют на модульные, интегральные и модульно-интегральные?
7. Какие численные итерационные методы (простой и модифицированной итераций, Зейделя, Ньютона и др.) используются для расчёта сложных нелинейных систем уравнений?

8. Как численное моделирование помогает оптимизировать режимы работы оборудования в теплоэнергетике, например, в теплофикационных турбоустановках?

9. Как моделирование процессов горения в обогревательном простенке коксовой печи позволяет получить данные о физических и химических параметрах процесса?

10. Как численное моделирование помогает исследовать процесс функционирования кожухотрубного теплообменника для теплообмена между двумя водно-органическими растворами?

11. Дать определение методов математического и физического моделирования?

12. Назовите области применения методов математического и физического моделирования?

13. Практическое применение методов математического и физического моделирования?

14. Какие гидродинамические модели структуры потоков применяются при моделировании теплообменных аппаратов?

15. Сформулируйте на основе каких законов разрабатываются математические модели тепловых процессов?

16. Составить ячеичную математическую модель теплообменного аппарата?

17. Составить диффузионную однопараметрическую математическую модель теплообменного аппарата?

18. Сформулируйте принципы составления уравнений тепловых балансов.

19. Разработать математическую модель трубчатой печи.

20. Сформулируйте на основе каких законов разрабатываются математические модели тепловых процессов?

21. Как математические модели описывают процессы в теплоэнергетическом оборудовании?

22. Как проверить адекватность математической модели?

23. Какие методы решения задач тепломассообмена и гидродинамики применяются в теплоэнергетике?

24. Как выбрать эффективный численный метод для решения конкретной задачи, оценить его точность и надёжность.

25. Какие программы для реализации численных методов моделирования процессов и аппаратов промышленной теплоэнергетики существуют?

26. Как математические модели описывают процессы в теплоэнергетическом оборудовании?

27. Как проверить адекватность математической модели?

28. Какие методы решения задач тепломассообмена и гидродинамики применяются в теплоэнергетике?

29. Как выбрать эффективный численный метод для решения конкретной задачи, оценить его точность и надёжность.

30. Какие программы для реализации численных методов моделирования процессов и аппаратов промышленной теплоэнергетики существуют? Как

исследовать процесс функционирования кожухотрубного теплообменника для теплообмена между двумя водно-органическими растворами?

31. Как моделировать процессы горения в обогревательном простенке коксовой печи?

32. Как исследовать процесс функционирования кожухотрубного теплообменника для теплообмена между двумя водно-органическими растворами?

33. Как моделировать процессы горения в обогревательном простенке коксовой печи?

## **6.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания**

Критерии оценки знаний устанавливаются в соответствии с требованиями к профессиональной подготовке, исходя из действующих учебных планов и программ с учетом характера конкретной дисциплины, а также будущей практической деятельности выпускника.

Для допуска к зачету с оценкой 1 курс 2 семестр необходимо: выполнить учебный план по дисциплине, включающий в себя посещение лекций, практических занятий, задач и тестирования, а также выполнение контрольной работы.

Для оценки знаний, умений, навыков и формирования компетенции по дисциплине «Моделирование в теплоэнергетике» применяется традиционная система оценки текущего и промежуточного контроля освоения программы.

Знания оцениваются:

- 1 курс 2 семестр: по четырехбалльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Таблица 7

### **Критерии оценивания защиты практических работ**

Оценка	Критерии оценивания
практическая работа «зачтена»	практическая работа выполнена с соблюдением правил техники безопасности; практическая работа оформлена, выполнены все задания практической работы. Студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы преподавателя, представил результаты в тексте в формате Word, шрифт TimesNewRoman 14, листы формат А4
практическая работа «незачтена»	практическая работа выполнена с соблюдением правил техники безопасности; практическая работа оформлена, но в ее оформлении содержатся грубые ошибки. Студент ответил на контрольные вопросы преподавателя с ошибками или вообще не ответил на контрольные вопросы, не представил результаты в тексте в формате Word, шрифт TimesNewRoman 14, листы формат А4

Таблица 8

### **Критерии оценивания индивидуальных задач**

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5»	«отлично» – студент самостоятельно и в полном объеме выполнил индивидуальные задачи; логично, последовательно и аргументировано изложил ход решения поставленной перед ним задачи
Средний	«хорошо» – студент самостоятельно и в полном объеме выполнил

Оценка	Критерии оценивания
уровень «4»	индивидуальные задачи; логично, последовательно и аргументировано изложил ход решения поставленной перед ним задачи, но в решении имеются незначительные ошибки и неточности
Пороговый уровень «3»	«удовлетворительно» – студент самостоятельно и в полном объеме выполнил индивидуальные задачи; однако в решении имеются ошибки и неточности, отсутствует пояснения методики решения, небрежное оформление работы
Минимальный уровень «2»	«неудовлетворительно» – студент не выполнил индивидуальные задачи

Таблица 9

**Критерии оценивания письменного и устного опроса**

Оценка	Критерии оценивания
«зачтено»	- заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и логически правильно излагающий теоретический материал, не допускающий существенных неточностей в ответе на вопрос; владеющий терминологией и символикой изучаемой дисциплины при изложении материала. Студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы преподавателя, представил результаты тестирования на учебно-методическом портале sdo.timacad
«незачтено»	- заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал; не показал правильного понимания существа вопросов; не знает значительной части основного материала; допускает принципиальные ошибки; основная литература по проблемам курса не усвоена, практические навыки не сформированы. Студент ответил на контрольные вопросы преподавателя с ошибками или вообще не ответил на контрольные вопросы, не представил результаты тестирования на учебно-методическом портале sdo.timacad

Важным элементом формирования компетенций в рамках изучаемой дисциплины «Моделирование в теплоэнергетике» является выполнение контрольной работы, задание на который по приведенной выше по тематике выдается студентам на 1 – 2 неделе учебного семестра. Контрольная работа не может быть принят и подлежит доработке в следующих случаях: отсутствие в проекте необходимого материала описательного и графического характера; наличие ошибок в расчетах; отсутствие необходимых обозначений и размерностей единиц; отсутствие ссылок на использованную литературу; неправильно оформленный список литературы; неаккуратное оформление контрольного и (или) графического материала. Выполнение и защита Кр являются обязательным элементом, влияющим на допуск к зачету с оценкой по дисциплине.

Для оценки выполнения контрольной работы используется традиционная система с критериями, сформулированными в нижеприведенной таблице 10.

Таблица 10

**Критерии оценивания контрольной работы**

Оценка	Критерии оценки
«зачтено»	Контрольная работа выполнена в соответствии с утвержденным планом;

Оценка	Критерии оценки
	расчеты, чертежи выполнены точно и верно. Студентом сформулированы собственные аргументированные выводы по теме. Студент владеет специальной терминологией; стилистические и грамматические ошибки отсутствуют. При оформлении работы выполнен набор текста в формате Word, шрифт Times New Roman 14, листы формат А1. При защите контрольной работы студентом продемонстрирован высокий уровень развития профессиональных компетенций, теоретических знаний и наличие практических навыков
«незачтено»	Контрольная работа не выполнена в соответствии с утвержденным планом; расчеты, чертежи выполнены не точно и не верно. Студентом не сформулированы собственные аргументированные выводы по теме. Студент не владеет специальной терминологией; присутствуют стилистические и грамматические ошибки. При оформлении работы не выполнен набор текста в формате Word, шрифт Times New Roman 14, листы формат А1. При защите контрольной работы студентом не продемонстрирован высокий уровень развития профессиональных компетенций, теоретических знаний и наличие практических навыков

Таблица 11

### Критерии оценивания результатов итогового контроля (зачет с оценкой)

Оценка	Критерии оценки
Высокий уровень «5» (отлично)	«отлично» – студент излагает содержание вопроса логически верно, аргументировано, умеет делать выводы; правильно формулирует основные законы; знает и применяет основные формулы и расчетные зависимости; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы
Средний уровень «4» (хорошо)	«хорошо» – студент излагает содержание вопроса логически верно и по существу, умеет делать выводы и приводит примеры из практики, но допускает некоторые неточности и незначительные ошибки или описки, что в целом не вызывает сомнений в освоении дисциплины
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	«удовлетворительно» – студент не в полной мере владеет навыками логично и аргументировано излагать содержание материала, имеет общие знания основного содержания дисциплины без освоения некоторых существенных положений, допускает неточности и затрудняется в теоретических выводах, однако умеет применять знания и умения в практических работах, владеет навыками работы со справочной и учебной литературой, умеет пользоваться нормативными документами
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	«неудовлетворительно» – студент не освоил значительную часть содержания дисциплины; допускает существенные ошибки в изложении материала; практические навыки не сформированы; не умеет выделить главное и сделать выводы

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1 Основная литература

- Семенов, Б.А. Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебное пособие / Б. А. Семенов. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 400 с. — ISBN 978-5-8114-1392-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/5107>.

2. Срочко, В. А. Численные методы. Курс лекций : учебное пособие / В. А. Срочко. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-1014-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210359>.

3. Осмонов, Орозмамат Мамасалиевич. Нагнетатели и тепловые двигатели: учебное пособие / О. М. Осмонов, Ю. А. Канатников; Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева (Москва). — Электрон. текстовые дан. — Москва: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016. — 160 с.: рис. — Коллекция: Учебная и учебно-методическая литература. — Режим доступа : <http://elib.timacad.ru/dl/local/138.pdf>. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации. — <URL:<http://elib.timacad.ru/dl/local/138.pdf>>.

4. Рудобашта, Станислав Павлович. Основы трансформации теплоты: учебное пособие / С. П. Рудобашта, Ю. А. Канатников; Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева (Москва). — Электрон. текстовые дан. — Москва: Реарт, 2018. — 152 с. — Коллекция: Учебная и учебно-методическая литература. — Режим доступа : <http://elib.timacad.ru/dl/local/d9394.pdf>. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации. — <URL:<http://elib.timacad.ru/dl/local/d9394.pdf>>.

## 7.2 Дополнительная литература

1. Быстрицкий, Г.Ф. Техническое обслуживание котельного и турбинного оборудования на тепловых электрических станциях: учебник для среднего профессионального образования / Г. Ф. Быстрицкий, Г. Г. Гасангаджиев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 149 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-20032-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/557499>.

2. Быстрицкий, Г.Ф. Электрооборудование электростанций : учебник для среднего профессионального образования / Г. Ф. Быстрицкий, Г. Г. Гасангаджиев, В. С. Кожиченков. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 414 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-20010-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/557452>.

3. Быстрицкий, Г.Ф. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанций : учебник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий, Г. Г. Гасангаджиев. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 149 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20011-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/557453>.

4. Рудобашта, Станислав Павлович. Процессы и аппараты по переработке сельскохозяйственной продукции: экстрагирование и кристаллизация: методические указания / С. П. Рудобашта; Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева (Москва). — Электрон. текстовые дан. — Москва: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016. — 43 с., рис. — Коллекция: Учебная и учебно-методическая литература. — Режим доступа : <http://elib.timacad.ru/dl/local/144.pdf>. - Загл. с титул. экрана. -

### 7.3 Нормативные правовые акты

1. Межгосударственный стандарт ГОСТ 2.704-2011 "Единая система конструкторской документации. Правила выполнения гидравлических и пневматических схем" (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 августа 2011 г. N 211-ст) // <https://base.garant.ru/70217468/>.

2. Межгосударственный стандарт ГОСТ 21.705-2016 "Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации тепловых сетей" (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2016 г. N 2033-ст) // <https://base.garant.ru/71762018/>.

3. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 21.101-2020 "Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации" (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 июня 2020 г. N 282-ст) (с изменениями и дополнениями) // <https://base.garant.ru/74691448/>.

4. Межгосударственный стандарт ГОСТ 19431-2023 "Энергетика и электрификация. Термины и определения" (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 октября 2023 г. N 1218-ст) // <https://base.garant.ru/408077289/>.

5. Межгосударственный стандарт ГОСТ 3.1116-2011 "Единая система технологической документации. Нормоконтроль" (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 августа 2011 г. N 212-ст) // <https://base.garant.ru/70194472/>.

6. ГОСТ Р 51991-2002 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Общие технические требования // <https://base.garant.ru/5922362/>.

7. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 апреля 2024 г. N 1112 "О внесении изменения в приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 апреля 2020 г. N 687" // <https://base.garant.ru/408967307/>.

8. Постановление Правительства РФ от 22 февраля 2012 г. N 154 "О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения" (с изменениями и дополнениями) // <https://base.garant.ru/70144110/>.

9. Свод правил СП 61.13330.2012 "СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов". Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 27 декабря 2011 г. N 608) (с изменениями и дополнениями) // <https://base.garant.ru/70158962/>.

10. Приказ Министерства энергетики РФ от 6 декабря 2022 г. N 1286 "Об утверждении Методических указаний по проектированию развития энергосистем и о внесении изменений в приказ Минэнерго России от 28 декабря 2020 г. N 1195" (с изменениями и дополнениями). Приложение N 1.

Методические указания по проектированию развития энергосистем // <https://base.garant.ru/406065165/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/>.

11. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 6707-1-2020 "Здания и сооружения. Общие термины" (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 декабря 2020 г. N 1388-ст) // <https://base.garant.ru/400397928/>.

12. Свод правил по проектированию и строительству СП 41-101-95 "Проектирование тепловых пунктов" // <https://base.garant.ru/3922453/>.

13. Свод правил по проектированию и строительству СП 41-104-2000 "Проектирование автономных источников теплоснабжения" (одобрен постановлением Госстроя РФ от 16 августа 2000 г. N 79) // <https://base.garant.ru/3922470/>.

14. Свод правил по проектированию и строительству СП 41-105-2002 "Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с индустриальной тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке" (одобрен постановлением Госстроя РФ от 26 декабря 2002 г. N 168) // <https://base.garant.ru/3923579/>.

15. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 17 декабря 2020 г. № 4450 "Об утверждении порядка осуществления контроля за исполнением инвестиционных проектов по строительству предприятий как имущественных комплексов, предусмотренных статьей 132 Гражданского кодекса Российской Федерации, предназначенных для производства рыбной и иной продукции и построенных на территории Российской Федерации" // <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400403147/>.

#### **7.4 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям**

Для проведения практических занятий по дисциплине используются приведенные рабочие тетради:

1. Осмонов, Орзмамат Мамасалиевич. Термовые двигатели и нагнетатели: рабочая тетрадь для лабораторно-практических занятий / О. М. Осмонов; Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева (Москва), Энергетический факультет, Кафедра «Теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий». — Электрон. текстовые дан. — Москва, 2017. — 40 с. — Коллекция: Учебная и учебно-методическая литература. — Коллекция: Рабочие тетради. — Режим доступа : <http://elib.timacad.ru/dl/local/rt64.pdf>. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации. — <URL:<http://elib.timacad.ru/dl/local/rt64.pdf>>.

#### **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. <https://portal.timacad.ru/> – учебно-методический портал (открытый доступ).

2. <http://e.lanbook.com/> Электронно-библиотечная система (открытый доступ).

3. <http://www.teploenergetika.info> – информационный портал посвященный теплоэнергетике (открытый доступ);

4. <http://03-ts.ru> – электронная библиотека для теплотехников и теплоэнергетиков, работающих на электростанциях и промышленных предприятиях различных отраслей хозяйства страны, а также научных работников и студентов вузов соответствующих специальностей (открытый доступ);

## **9. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

1. База данных (БД) ВИНИТИ РАН (<http://www.viniti.ru>).

2. Государственная информационная система (ГИС) в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности (<https://gisee.ru>).

3. Единая информационная система «Технорматив» (<https://www.texnormativ.ru>).

4. Научная электронная библиотека (<http://elibrary.ru>).

5. Росинформресурс. Бюллеть «Топливно-энергетический комплекс Российской Федерации» (<http://www.rosinf.ru>).

Таблица 12

### **Перечень программного обеспечения**

№ п/п	Наименование раздела учебной дисциплины	Наименование программы	Тип программы	Автор	Год разработки
1.	<b>Раздел 1. Численные методы моделирования процессов и аппаратов промышленной теплоэнергетики</b>	MS Word MS Excel MS Power Point	Оформительская Расчетная Презентация	Microsoft Microsoft Microsoft	2003...2010 2003...2013 2003...2013
2.	<b>Раздел 2. Численное моделирование задач промышленной техники (ПТ) с помощью программ</b>	AutoCAD	Оформительская	Autodesk	2008...2013

## **10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Таблица 13

### **Сведения об обеспеченности специализированными аудиториями, кабинетами, лабораториями**

Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы (№ учебного корпуса, № аудитории)	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
Лаборатории № 201 в корпусе по адресу: Лиственничная аллея, д. 6, 24 учебный корпус	Лаборатория содержит: 1) проектор NEC NP60 DLP 1024*768,300 для слайд-презентаций (Инв.№ 210134000002560); 2) проекционный экран с электроприводом Digis Electra 240*240 NW (DSEM-1106) (Инв.№ 410138000002636); 3) компьютер (Инв.№ 210134000001871)

<b>Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы (№ учебного корпуса, № аудитории)</b>	<b>Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>
Лаборатории № 214 в корпусе по адресу: Лиственничная аллея, д. 6, 24 учебный корпус	<p>Лаборатория содержит:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) экран Projecta SlimScreen 200*200 cv Matte White S настенный (Инв.№ 568938);</li> <li>2) комплект из интерактивной доски Penbord 77 (стойка, проектор и доска) (Инв.№ 210134000001798);</li> <li>3) доска настенная магнитно-меловая ДН-32М (Инв.№ 632954);</li> <li>4) компьютер (Инв.№ 210134000001864);</li> <li>5) теплосчетчик Multical UF (инв. № 210134000002443);</li> <li>6) теплосчетчик ВИС.Т ТС-200 (инв. № 41013000001624)</li> </ol>
Лаборатории № 314 в корпусе по адресу: Лиственничная аллея, д. 6, 24 учебный корпус	<p>Лаборатория содержит:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) экран настенный Projecta SlimScreen (Инв.№ 210134000002855);</li> <li>2) проектор NEC NP60 DLP 1024*768,300 (Инв.№ 210134000002560);</li> <li>3) доска настенная магнитно-меловая ДН-32М (Инв.№ 632955);</li> <li>4) компьютер (Инв.№ 210134000001865)</li> </ol>

\*Для самостоятельной работы студентов используются ресурсы Центральной научной библиотеки имени Н.И. Железнова, включающие 9 читальных залов, организованных по принципу открытого доступа и оснащенных Wi-Fi, Интернет-доступом, в том числе 5 компьютеризированных читальных залов, а также комнаты для самоподготовки в общежитиях № 5 и № 4.

## **11. Методические рекомендации студентам по освоению дисциплины**

Образовательный процесс по дисциплине «Моделирование в теплоэнергетике» организован в форме учебных занятий (контактная работа (аудиторной и внеаудиторной) обучающихся с преподавателем и самостоятельная работа обучающихся), в том числе с применением современных программных продуктов (AUTOCAD, КОМПАС, MS Office: Word, Excel, PowerPoint), цифровых платформ Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru) и цифровых инструментов (Kahoot, Moodle, SimInTech).

Учебные занятия представлены следующими видами, включая учебные занятия, направленные на практическую подготовку обучающихся и проведение текущего контроля успеваемости: лекции, практические занятия, тестирование, задачи, групповые консультации, самостоятельная работа обучающихся.

На учебных занятиях обучающиеся выполняют запланированные настоящей программой отдельные виды учебных работ, в том числе отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

При подготовке к практическому занятию студент должен повторить теоретический материал по лекции, а также по учебникам и учебным пособиям, рекомендуемым настоящей программой. На каждое практическое занятие и

практическую работу студент должен иметь тетрадь, карандаш, линейку, циркуль, угольник, транспортир.

Студентам необходимо:

➤ внимательно ознакомиться с содержанием тематического плана, вывешиваемого на кафедре, и приведенным в нем списком рекомендуемой литературы;

➤ получить консультацию у преподавателя кафедры, ведущего дисциплину «Моделирование в теплоэнергетике», по всем возникающим учебно-методическим вопросам;

➤ используя методические пособия, приступить к изучению рекомендуемой литературы строго по темам дисциплины;

➤ прорабатывать каждую тему сразу после ее прочтения на лекции; приступить к выполнению Кр сразу после получения задания;

➤ при выполнении Кр ответить на все пункты содержания темы контрольной работы;

➤ перед выполнением практических занятий ознакомиться с методическими указаниями по их выполнению;

➤ для допуска к зачету с оценкой студенту необходимо выполнить и успешно сдать отчеты по всем практическим занятиям, а также выполнить весь объем самостоятельной индивидуальной работы, защитить выполненную Кр, при подготовке к зачету с оценкой руководствоваться вопросами, приведенными выше в данной рабочей программы.

В конспекте лекций следует избегать подробной записи. Конспект не должен превращаться в единственный источник информации, а должен подводить студента к самостоятельному обдумыванию материала, к работе с учебной книгой. Независимо от того, есть учебник или нет, лекции записывать необходимо.

Последующая работа над лекцией заключается в повторении ее содержания по конспекту (а еще лучше с привлечением дополнительных источников) вскоре после ее прослушивания, т.к. забывание материала, воспринятого любым способом, идет особенно интенсивно сразу же после восприятия.

Оформление практических занятий должно быть максимально приближено к уровню, на котором ведется экспериментальная научно-исследовательская работа в конкретной предметной области.

При подготовке к практическому занятию студент должен изучить рекомендованный к данной теме материал по учебнику и практикуму, подготовить отчет, который должен содержать наименование работы, цель работы, при необходимости – схемы рассматриваемой установки с указанием контрольно-измерительных приборов, расчетных формул, таблицы для записи опытных данных. На практических занятиях студент обязан обдуманно выполнять задания, анализировать полученные результаты.

Окончательно оформленные отчеты по практическим занятиям защищаются студентами в индивидуальном порядке в часы консультаций

преподавателя в день выполнения практического занятия или в ближайшее время.

### **Виды и формы отработки пропущенных занятий**

Студент, пропустивший лекцию, обязан самостоятельно проработать тему и представить преподавателю, проводящему данный вид занятия, конспект занятия. Студент, не посещавший или пропустивший большое число лекций, для допуска к зачету с оценкой должен самостоятельно изучить материалы на учебно-методическом портале (открытый доступ) по ссылке <https://portal.timacad.ru/>.

Студент, пропустивший практические занятия и задачи, отрабатывает его в согласованное с преподавателем время и выложить его на учебно-методическом портале (открытый доступ) по ссылке <https://portal.timacad.ru/>.

Студент получает допуск к зачету с оценкой если выполнены и защищены практические работы, задачи и пройденное тестирование и выполнение РР, а также имеется в наличии рукописный конспект лекций.

## **12. Методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине**

Наилучшей формой организации обучения по дисциплине «Моделирование в теплоэнергетике» представляется такая, при которой все виды предусмотренных учебным планом занятий (лекции, практические занятия и, задачи, тестирование, контрольная работа) образуют единый взаимосвязанный учебный процесс.

**Чтение лекций** является главным звеном учебного процесса. На лекциях излагается основное содержание курса, дается научная и методическая установка в изучении преподаваемой дисциплины. При условии своевременного закрепления лекционного материала в условиях обязательного текущего тестирования, при проведении групповых практических занятий, а также в процессе самостоятельного изучения разделов дисциплины и выполнения контрольной работы, студенты являются на очередные лекции достаточно подготовленными для их прослушивания и усвоения.

Во время лекций демонстрация слайд-презентаций является предпочтительной. Поэтому от преподавателя требуется тщательная работа по методическому обеспечению таких занятий, включающая отбор необходимых фрагментов видеоматериалов и слайдов, подбор или самостоятельное изготовление иллюстраций и чертежей, проверка качества их демонстрации, количества затрачиваемого времени и т.д.

**Проведение практических занятий** (последние целесообразно проводить с подгруппой) также является, наряду с лекциями, важным элементом закрепления изучаемого материала и приобретения студентами практических навыков.

Перед проведением очередного практического занятия или очередной практической работы необходимо заранее предупредить студентов о теме будущего занятия, указать на необходимость самостоятельного ознакомления

их с целью, общими положениями (теоретической частью), содержанием заданий по работе, последовательностью и методикой выполнения, с контрольными вопросами и заданиями (служащими для тестирования), подумать о выводах, которые необходимо сделать (при необходимости) в конце работы. Обязательно отметить, что на очередное занятие студент должен прийти с заранее подготовленной рабочей тетрадью по теме работы (т.е. с вписанными в нее теоретическими положениями, формулами и т.п.).

После выполнения и оформления в рабочей тетради практического занятия, необходимо представить ее на проверку преподавателю и пройти «защиту». Это позволяет студентам еще раз повторить и осмыслить пройденный материал, а преподавателю оценить степень усвоения пройденного студентами материала.

**Тестирование.** Текущее тестирование целесообразно проводить 2-3 раза в течение семестра. С его помощью проверяется усвоение студентами материала, пройденного за 6-8 недель. Эта проверка должна быть достаточно глубокой с тем, чтобы одновременно служить подготовкой к предстоящему зачету с оценкой.

По каждому тестируемому разделу дисциплины должно быть разработано несколько (минимум 20) вариантов тестовых заданий, с тем, чтобы близко сидящие студенты имели разные варианты.

При неудовлетворительных результатах тестирования студенты подвергаются тестированию повторно по другому варианту минимум через 1 день. Важным методическим требованием преподавателем результатов тестирования является своевременное (в том числе на этапе предзачетной консультации) ознакомление студентов с допущенными в нем ошибками.

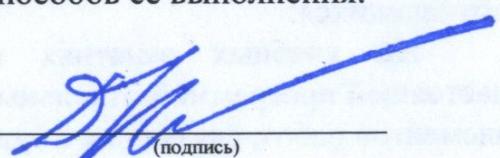
**Выполнение индивидуальных задач**, направленных на развитие у студентов самостоятельности и инициативы и для формирования умений: решение задач по образцу и выполнение расчетов.

Индивидуальная форма организации самостоятельной работы студентов предусматривает обязательное личное выполнение индивидуальных задач студентов. Преподавателю необходимо тщательно прогнозировать содержание учебного материала, на основе которого составляются индивидуальные задачи для индивидуальной самостоятельной деятельности студентов.

Индивидуальные задачи вызывает личностное отношение студента к материалу, стимулирует его активность. Возрастает роль студента в определении содержания работы, выборе способов ее выполнения.

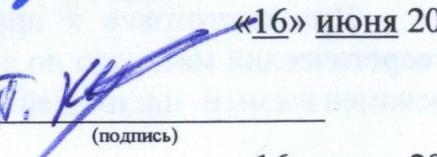
**Программу разработали:**

Нормов Д.А., д.т.н., профессор

  
(подпись)

«16» июня 2025 г.

Кукушкина Т.С., ассистент

  
(подпись)

«16» июня 2025 г.

**РЕЦЕНЗИЯ**  
**на рабочую программу дисциплины Б1.О.02 «Моделирование в теплоэнергетике»**  
**ОПОП ВО по направлению 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника»,**  
**направленность «Энергообеспечение предприятий»**  
**(квалификация выпускника – магистр)**

Андреевым Сергеем Андреевичем, доцентом кафедры «Автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доктор технических наук (далее по тексту рецензент), проведена рецензия рабочей программы дисциплины «Моделирование в теплоэнергетике» ОПОП ВО по направлению 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника», направленность «Энергообеспечение предприятий» (уровень обучения – магистратура) разработанной в ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», на кафедре Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий (разработчик – Малин Н.И., профессор, доктор технических наук).

Рассмотрев представленные на рецензию материалы, рецензент пришел к следующим выводам:

1. Предъявленная рабочая программа дисциплины «Моделирование в теплоэнергетике» (далее по тексту Программа) соответствует требованиям ФГОС ВО по направлению 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника». Программа содержит все основные разделы, соответствует требованиям к нормативно-методическим документам.

2. Представленная в Программе актуальность учебной дисциплины в рамках реализации ОПОП ВО не подлежит сомнению – дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части учебного цикла – Б1.О.

3. Представленные в Программе цели дисциплины соответствуют требованиям ФГОС ВО направления 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника».

4. В соответствии с Программой за дисциплиной «Моделирование в теплоэнергетике» закреплены 2 компетенции (индикаторы достижения компетенций): УК-4 (индикаторы достижения компетенций: УК-4.3), ОПК-2 (индикаторы достижения компетенций: ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3). Дисциплина «Моделирование в теплоэнергетике» и представленная Программа способны реализовать их в объявленных требованиях.

5. Результаты обучения, представленные в Программе в категориях знать, уметь, владеть соответствуют специфике и содержанию дисциплины и демонстрируют возможность получения заявленных результатов.

6. Общая трудоёмкость дисциплины «Моделирование в теплоэнергетике» составляет 4 зачётные единицы (180 часов).

7. Информация о взаимосвязи изучаемых дисциплин и вопросах исключения дублирования в содержании дисциплин соответствует действительности. Дисциплина «Моделирование в теплоэнергетике» взаимосвязана с другими дисциплинами ОПОП ВО и Учебного плана по направлению 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника» и возможность дублирования в содержании отсутствует.

8. Представленная Программа предполагает использование современных образовательных технологий при реализации различных видов учебной работы. Формы образовательных технологий соответствуют специфике дисциплины.

9. Программа дисциплины «Моделирование в теплоэнергетике» предполагает проведение занятий в интерактивной форме.

10. Виды, содержание и трудоёмкость самостоятельной работы студентов, представленные в Программе, соответствуют требованиям к подготовке выпускников, содержащимся во ФГОС ВО направления 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника».

11. Представленные и описанные в Программе формы текущей оценки знаний (выполнение практических занятий, участие в тестировании и контрольных опросах,

выполнение контрольная работа, работа с технической литературой), соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

Форма промежуточного контроля знаний студентов, предусмотренная Программой, осуществляется в форме зачета с оценкой и защиты Кр, что соответствует статусу дисциплины, как дисциплины по выбору вариативной части учебного цикла – Б1.О ФГОС ВО направления 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника».

12. Формы оценки знаний, представленные в Программе, соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

13. Учебно-методическое обеспечение дисциплины представлено: основной литературой – 4 источника (базовые учебники), дополнительной литературой – 4 наименования, периодическими изданиями – 15 источников со ссылкой на электронные ресурсы, Интернет-ресурсы – 4 источника и соответствует требованиям ФГОС ВО направления 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника».

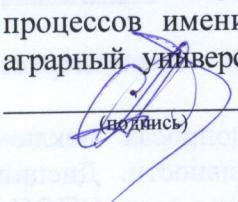
14. Материально-техническое обеспечение дисциплины соответствует специфике дисциплины «Моделирование в теплоэнергетике» и обеспечивает использование современных образовательных, в том числе интерактивных методов обучения.

15. Методические рекомендации студентам и методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине дают представление о специфике обучения по дисциплине «Моделирование в теплоэнергетике».

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенной рецензии можно сделать заключение, что характер, структура и содержание рабочей программы дисциплины «Моделирование в теплоэнергетике» ОПОП ВО по направлению 13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника, направленность «Энергообеспечение предприятий» (квалификация выпускника – магистр), разработанная профессором кафедры «Электроснабжения и теплоэнергетики им. академика И.А. Будзко», доктором технических наук Нормовым Д.А., ассистентом кафедры «Электроснабжения и теплоэнергетики им. академика И.А. Будзко» Кукушкиной Т.С. соответствует требованиям ФГОС ВО, современным требованиям экономики, рынка труда и позволит при её реализации успешно обеспечить формирование заявленных компетенций.

Рецензент: Андреев С.А., доцент кафедры «Автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доцент, доктор технических наук

  
(подпись)

«16» июня 2025 г.