

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:



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)

ФИО: Арженовский Алексей Григорьевич

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

Дата подписания: 03.12.2025 14:52:48

Уникальный программный ключ:

3097683b38557fc8e27027e8e64c5115ba3ab904

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

2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.40 ТЕПЛОМАССООБМЕН

для подготовки бакалавров:

ФГОС ВО

Направление: 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Направленность: Инжиниринг теплоэнергетических систем

Курс 3

Семестр 6

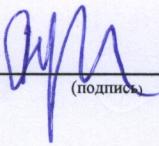
Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2025

Москва, 2025

Разработчик: Рудобашта С.П., д.т.н., профессор

(ФИО, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

«16» июня 2025 г.

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

(ФИО, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

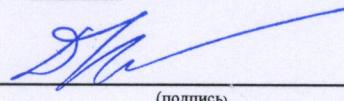
«16» июня 2025 г.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО, профессионального стандарта и учебного плана по направлению подготовки: 13.03.01 – 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)

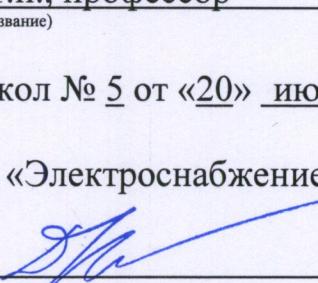

(подпись)

«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)

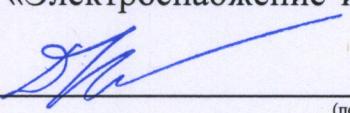

(подпись)

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

Мирзаев Р.Н.
(подпись)

Содержание

Аннотация	4
1. Цель освоения дисциплины	4
2. Место дисциплины в учебном процессе	5
3. Перечень планируемых результатов обучения дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	6
4. Структура и содержание дисциплины	14
4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам ..	14
4.3 Лекции/лабораторные/практические занятия	17
5. Образовательные технологии	23
6. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины	26
6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы	26
6.1.1. Пример вопросов и задания для защиты лабораторных работ	26
6.1.2. Перечень практических занятий	29
6.1.3. Перечень тестов, выносимых на промежуточную аттестацию	30
6.1.4. Тематика заданий на курсовую работу	33
6.1.5. Перечень вопросов для защиты курсовой работы	36
6.1.6. Перечень вопросов к экзамену	37
6.2 Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания	39
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	42
7.1 Основная литература	42
7.2 Дополнительная литература	43
7.3 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям	43
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины	45
9. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем	45
10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине	46
11. Методические рекомендации студентам по освоению дисциплины	47
Виды и формы отработки пропущенных занятий	49
12. Методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине	49

Аннотация

рабочей программы учебной дисциплины Б1.О.40 «Тепломассообмен» для подготовки бакалавров по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», направленность «Инжиниринг теплоэнергетических систем»

Цель освоения дисциплины научиться:

– ознакомить студентов с теоретическими и практическими знаниями логического и абстрактного мышления с практической реализацией ее содержания;

– разрабатывать с использованием информационных технологий методы в области тепломассообмена, построенных на новейших достижениях науки и техники;

Место дисциплины в учебном плане: дисциплина включена в обязательную часть учебного плана по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Требования к результатам освоения дисциплины: в результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции: ОПК-3 (индикаторы достижения компетенций ОПК-3.3); ОПК-4 (индикаторы достижения компетенций ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, 4.7).

Краткое содержание дисциплины: основные понятия и определении теплообмена, способы распространения теплоты в пространстве, теплопроводность, коэффициент теплопроводности, конвекция, излучение, закон теплопроводности Фурье, стационарная и нестационарная теплопроводность, дифференциальное уравнение теплопроводности, конвективный теплообмен, дифференциальное уравнение конвективного теплообмена, динамический и тепловой пограничные слои, уравнение теплоотдачи Ньютона, основы теории подобия и ее применение для обобщения опытных данных по коэффициентам теплоотдачи, теплоотдача при вынужденной и естественной конвекции, кипении, конденсации, излучение, теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки, коэффициент теплопередачи, критический диаметр теплоизоляции, теплопередача в теплообменном аппарате, типы теплообменных аппаратов, схемы движения теплоносителей через рекуперативный теплообменник, средняя разность температур в теплообменном аппарате, интенсификация теплообмена, тепловой расчет теплообменника, основные понятия массообмена, массообменные процессы, диффузия, закон диффузии Фика, дифференциальное уравнение диффузии, конвективный массообмен, дифференциальное уравнение конвективного массообмена, диффузационный пограничный слой, массоотдача, критериальные уравнения конвективного массообмена, фазовое концентрационное равновесие, массопередача в системах без твердой фазы и в системах с твердой фазой.

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

Промежуточный контроль: курсовая работа, экзамен.

1. Цель освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины Б1.О.40 «Тепломассообмен» является формирование у обучающихся компетенций, обеспечивающих способность к:

- навыкам применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач;
- способности демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах;
- готовности к производственно-технологической профессиональной деятельности с использованием современных программных средств подготовки конструкторско-технологической документации, информационных технологий, современных цифровых инструментов Kahoot, Moodle, Fotor, SimInTech, в том числе обработки и интерпретации информации с помощью современных программных продуктов Excel, PowerPoint и осуществлении коммуникации посредством Webinar, Zoom, Mentimeter.

2. Место дисциплины в учебном процессе

Дисциплина «Тепломассообмен» включена в обязательный перечень дисциплин учебного плана обязательной части блока Б1.О.40 Дисциплина «Тепломассообмен» реализуется в соответствии с требованиями ФГОС ВО и Учебного плана по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», направленность «Энергообеспечение предприятий, тепловые и технические системы». Согласно учебному плану изучается в шестом семестре.

Предшествующими дисциплинами являются курсы: Техническая термодинамика (3 курс, 5 семестр), Основы водоподготовки (3 курс, 5 семестр), Начертательная геометрия и инженерная графика (2 курс, 3 семестр), Теоретическая механика (2 курс, 3 семестр), Прикладная механика (2 курс, 4 семестр).

Сопутствующими дисциплинами являются курсы: Процессы и аппараты (3 курс, 5 семестр), Применение теплоты в АПК (3 курс, 5 семестр), Источники и системы теплоснабжения предприятий (3 курс, 5 семестр).

Дисциплина «Тепломассообмен» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: Тепломассообменное оборудование предприятий (4 курс, 7 семестр), Источники и системы теплоснабжения предприятий (4 курс, 7 семестр), Системы отопления и вентиляции (4 курс, 8 семестр), Применение теплоты в АПК (4 курс, 7 семестр).

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

Рабочая программа дисциплины «Тепломассообмен» 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 дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

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

Таблица 1

Требования к результатам освоения учебной дисциплины

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
1.	ОПК-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.3 Демонстрирует понимание химических процессов и применяет основные законы химии	химические процессы применительно к процессам тепломассообмена 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 основные законы химии для анализа процессов тепломассообмена, 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, Excel, PowerPoint) и применять для ускорения процесса передачи, обработки и интерпретации информации программные продукты Excel, Word, Power Point, Битрикс24, Webinar, Яндекс Телемост, Rutube	методами применения основных законов химии для анализа тепломассообменных процессов 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
2.	ОПК-4	Способен демонстрировать применение основных способов	ОПК-4.1 Демонстрирует понимание основных	основные законы движения жидкости и газа с использованием инфор-	понимать основные законы движения жидкости и газа, в том числе посредством элек-	демонстрации понимания основных законов движения жидкости и газа в том

№ п/п	Код компе- тенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы ком- петенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
		получения, преобра- зования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и си- стемах	законов движения жидкости и газа	мационных технологий, в том числе с примене- нием современных циф- ровых инструментов Fotor, SimInTech, Rutube и с применением цифро- вых технологий при ре- шении профессиональ- ных задач в учебно- методическом портале РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева sdo.timacad.ru	тронных ресурсов, офици- альных сайтов с требовани- ями стандартов с исполь- зованием современных цифро- вых инструментов (Google Jamboard, mts-link) и про- граммных продуктов Excel, Word, PowerPoint, Pictochart и др., в том числе с исполь- зованием информационных технологий, в том числе с помощью современных про- граммных продуктов (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint) и применять для ускорения процесса передачи, обработ- ки и интерпретации инфор- мации программные продукты Excel, Word, Power Point, Битрикс24, Webinar, Яндекс Телемост, Rutube	числе с использованием информационных техно- логий с помощью про- граммных продуктов MS Office: Word, Excel, PowerPoint, Pictochart, в том числе обработки и интерпретации информа- ции с помощью совре- менных программных продуктов Excel, Power Point и осуществлять коммуникации посред- ством Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube
				ОПК-4.2 Применяет знания основ гидрогазодина- мики для расчетов теплотехнических установок и систем	основные законы жид- кости и газа для расчёта гидротехнических си- стем, инженерных сетей и сооружений, а также методики применения основ гидрогазодинами- ки для расчётов тепло- технических установок и	- решать типовые задачи гидравлики с применением соответствующего физико- математического аппарата и электронных вычислитель- ных средств, в том числе по- средством электронных ре- сурсов, официальных сайтов с требованиями стандартов с

№ п/п	Код компе- тенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы ком- петенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
				<p>систем 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>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, Яндекс Телемост, Rutube;</p> <p>- проводить эксперименты на гидравлических системах по заданной методике и анализировать результаты, в том числе посредством электронных ресурсов, официальных сайтов с требованиями стандартов с использованием современных цифровых инструментов (Google Jamboard, mts-link) и программных продуктов Excel,</p>	<p>ка», а также основными подходами к выполнению расчётов гидравлических закономерностей, систем и оборудования в теплоэнергетике 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</p>

№ п/п	Код компе- тенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы ком- петенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знатъ	уметь	владеть
				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, Яндекс Телемост, Rutube		
		ОПК-4.3 Использует знание теплофизических свойств рабочих тел при расчетах тепло-технических установок и систем	влияние свойств газов и газовых смесей на параметры работы теплотехнического 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	подбирать рабочие тела на основе газов, газовых и парогазовых смесей для работы теплотехнических установок и систем, 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 техноло-	навыками расчёта основных параметров тепло-технических установок и систем 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,	

№ п/п	Код компе- тенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы ком- петенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знатъ	уметь	владеть
				К.А. Тимирязева sdo.timacad.ru	гий, 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	Rutube
		ОПК-4.4 Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и термодинамических соотношений		законы технической термодинамики и их математическое выражение 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 законы термодинамики на конкретных примерах, 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, Excel, PowerPoint) и применять для ускорения	методикой расчёта теплотехнического оборудования с применением законов термодинамики 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 компе- тенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы ком- петенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
				процесса передачи, обработки и интерпретации информации программные продукты Excel, Word, Power Point, Битрикс24, Webinar, Яндекс Телемост, Rutube		
		ОПК-4.6 Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы	основные законы и способы переноса теплоты и массы 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	рассчитывать процессы переноса теплоты и массы в пространстве, 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, Excel, PowerPoint) и применять для ускорения процесса передачи, обработки и интерпретации информации программные продукты Excel, Word, Power Point, Битрикс24, Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube	методами расчета процессов переноса теплоты и массы в пространстве с помощью программных продуктов MS Office: Word, Excel, PowerPoint, Pictochart, в том числе обработка и интерпретации информации с помощью современных программных продуктов Excel, Power Point и осуществлять коммуникации посредством Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube	

№ п/п	Код компе- тенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы ком- петенций	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
					Rutube	
			ОПК-4.7 Применяет знания основ тепломассообмена в теплотехнических установках	основы тепломассообмена в теплотехнических установках 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	анализировать и рассчитывать процессы тепломассообмена в теплотехнических установках, 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, Excel, PowerPoint) и применять для ускорения процесса передачи, обработки и интерпретации информации программные продукты Excel, Word, Power Point, Битрикс24, Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube	расчета процессов тепломассообмена в теплотехнических установках 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

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 5 зач.ед. (180 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице 2.

Таблица 2

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ в 6 семестре

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	час. всего	в т.ч. в семестре
		№ 6
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	180	180
Контактная работа	72,4	72,4
Аудиторная работа:	72,4	72,4
в том числе		
лекции (Л)	34	34
лабораторные работы (ЛР)	16	16
практические работы (ПР)	18	18
курсовая работа (консультации, защиты)	2	2
консультации перед экзаменом	2	2
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	0,4	0,4
Самостоятельная работа (СРС)	80,6	80,6
курсовая работа (КР) (подготовка)	36	36
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим работам)	44,6	44,6
Подготовка к экзамену	27	27
Вид промежуточного контроля:	курсовая работа, экзамен	

Таблица 3

Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплин	Всего	Аудиторная работа				Внеаудиторная работа СР
		Л	ЛР	ПР	ПКР	
Раздел 1. Теплообмен	74,3	22	16	14	-	22,3
Раздел 2. Массообмен	38,3	12	-	4	-	22,3
Курсовая работа (КР) (подготовка)	36					36
Курсовая работа (КР) (консультация, защита)	2				2	
Консультации перед экзаменом	2				2	
Контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	0,4				0,4	
Подготовка к экзамену (контроль)	27					27
Всего за 6 семестр	180	34	16	18	4,4	80,6
Итого по дисциплине	180	34	16	18	4,4	107,6

Раздел 1 Теплообмен

Тема 1. Основные понятия и определения теплообмена. Способы распространения теплоты в пространстве. Закон теплопроводности Фурье

Предмет и задачи теории теплообмена; основные понятия и определения; виды переноса теплоты; закон теплопроводности Фурье; коэффициент теплопроводности; теплопроводность в металлах, диэлектриках, полупроводниках, жидкостях и газах.

Тема 2. Стационарная теплопроводность

Теплопроводность в плоской однослоиной и многослойной стенках, теплопроводность в цилиндрической однослоиной и многослойной стенках при постоянной температуре стенок. Термическое сопротивление теплопроводности.

Тема 3. Нестационарная теплопроводность

Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности; условия однозначности задачи нестационарной теплопроводности, начальное условие, граничные условия теплообмена первого, второго, третьего и четвертого рода.

Тема 4. Анализ решений дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности

Методы решения нестационарных задач теплопроводности; анализ типовых решений задач нестационарной теплопроводности; внешняя и внутренняя задачи нестационарной теплопроводности; регулярный режим теплообмена.

Тема 5. Конвективный теплообмен. Теплоотдача

Перенос теплоты движущейся средой, динамический, тепловой и диффузионный пограничные слои, уравнение теплоотдачи Ньютона; коэффициент теплоотдачи. Дифференциальное уравнение теплоотдачи.

Тема 6. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена и его анализ

Вывод дифференциального уравнения конвективного теплообмена, сопоставление его с дифференциальным уравнением нестационарной теплопроводности.

Тема 7. Основы теории подобия

Подобие: геометрическое, временное, физических величин, полей физических величин, условий однозначности; теоремы подобия; критерии (числа) подобия и методы их получения; критериальное уравнение; π -теорема подобия; Методы получения критериев подобия.

Тема 8. Применение теории подобия для описания теплоотдачи

Числа подобия конвективного теплообмена; критериальные уравнения при естественной и вынужденной конвекции; теплоотдача при естественной и вынужденной конвекции, кипении и конденсации.

Тема 9. Теплообмен излучением

Общие понятия и определения лучистого теплообмена. Виды излучения. Тепловое излучение. Законы излучения. Спектральные характеристики тел. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой. Коэффициент облученности. Теплообмен излучением между телами, произвольно

расположенными в пространстве. Защита от излучения. Излучение газов. Теплообмен излучением в топках и камерах сгорания.

Тема 10. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку

Понятие теплопередачи. Теплопередача через плоскую однослоиную и многослойную стенки. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление теплопередачи. Теплопередача через цилиндрическую однослоиную и многослойную стенки. Линейный коэффициент теплопередачи. Термовая изоляция. Критический диаметр теплоизоляции цилиндрической стенки. Выбор материала тепловой изоляции.

Тема 11. Теплопередача в теплообменных аппаратах

Назначение и классификация теплообменных аппаратов. Основные конструкции рекуперативных теплообменных аппаратов. Прямоточная и противоточная схемы движения теплоносителей через рекуперативный теплообменный аппарат. Тепловой баланс рекуперативного теплообменника. Средняя разность температур в рекуперативном теплообменнике при прямотоке, противотоке, перекрестном токе, в многоходовом теплообменнике. Способы интенсификации теплообмена в теплообменном аппарате.

Раздел 2 Массообмен

Тема 12. Общие сведения о массообменных процессах

Основные понятия и определения массообмена. Способы переноса вещества в пространстве. Основные массообменные процессы: абсорбция, ректификация, жидкостная экстракция, адсорбция, сушка, экстрагирование из твердой фазы, ионообменный процесс, мембранные разделение. Фазовое концентрационное равновесие.

Тема 13. Уравнение массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов

Основное уравнение массопередачи. Коэффициент массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов. Движущая сила массообменных процессов для случаев нелинейной и линейной равновесной зависимости. Модифицированные уравнения массопередачи.

Тема 14. Диффузия

Закон молекулярной концентрационной диффузии Фика. Коэффициент диффузии. Диффузия в газовых и жидкых средах. Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии. Условия однозначности задач диффузии. Аналогия между диффузией и теплопроводностью.

Тема 15. Конвективный массообмен. Массоотдача

Определение конвективного массообмена. Массоотдача. Диффузионный пограничный слой. Уравнение массоотдачи Щукарева. Коэффициент массоотдачи. Дифференциальное уравнение массоотдачи. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Применение теории подобия для получения массообменных критериев подобия. Критериальные уравнения для расчета коэффициентов массоотдачи для различных случаев массообмена.

Тема 16. Массопередача в системах с твердой фазой

Классификация материалов, составляющих твердую фазу. Перенос распределяемого вещества в твердой фазе в процессах сушки, адсорбции, экстрагирования. Уравнение массопроводности. Дифференциальное уравнение массопроводности и условия однозначности к нему.

4.3 Лекции/лабораторные/практические занятия

Таблица 4

Содержание лекций, лабораторных и практических занятий и контрольные мероприятия

№ п/п	№ раздела	№ и название занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
1.	Раздел 1 «Теплообмен»				52
	Тема 1 <i>Основные понятия и определения теплообмена. Способы распространения теплоты в пространстве. Закон теплопроводности Фурье</i>	Лекция № 1 Основные понятия и определения теплообмена	ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
	Тема 2 <i>Стационарная теплопроводность</i>	Лекция № 2 Стационарная теплопроводность	ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
		Лабораторная работа № 1 Определение коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом цилиндрического слоя (рабочая тетрадь MS Office: Word)		Защита лабораторной работы № 1 COUNT.EXE (sdo.timacad.ru)	2
		Практическая работа № 1 Расчет конвективного теплообмена: определите коэффициент теплоотдачи для трубы, омываемой попечным потоком воздуха (расчет и представление результатов с использованием информационных технологий в рабочей тетради (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))		Защита практической работы № 1 COUNT.EXE в виде решения задач Office: Word, Excel sdo.timacad.ru	3
		Практическая работа № 2 Расчет конвективного теплообмена: определите величину коэффициента теплоотдачи от трубы к воздуху		Защита практической работы № 2 COUNT.EXE в виде решения задач Office: Word, Excel	4

№ п/п	№ раздела	№ и название занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
		ху, а также тепловой поток, теряемый трубой (расчет и представление результатов с использованием информационных технологий в рабочей тетради (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))		sdo.timacad.ru	
	Тема 3 <i>Нестационарная теплопроводность</i>	Лекция № 3 Нестационарная теплопроводность	ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
		Лабораторная работа № 2 Определение зависимости коэффициента теплопроводности воздуха от температуры методом нагретой нити (рабочая тетрадь MS Office: Word)		Защита лабораторной работы № 2 COUNT.EXE (sdo.timacad.ru)	2
	Тема 4 <i>Анализ решений дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности</i>	Лекция № 4 Анализ решений дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности	ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
	Тема 5 <i>Конвективный теплообмен. Теплоотдача</i>	Лекция № 5 Конвективный теплообмен. Теплоотдача	ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
		Лабораторная работа № 3 Определение коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на обогреваемом цилиндре (рабочая тетрадь MS Office: Word)		Защита лабораторной работы № 3 COUNT.EXE (sdo.timacad.ru)	2
		Практическая работа № 3 Расчет теплообменного аппарата: определите поверхность нагрева стального рекуперативного газовоздушного теплообменника (расчет и представление результатов с использованием информационных технологий в рабочей тет-		Защита практической работы № 3 COUNT.EXE в виде решения задач Office: Word, Excel sdo.timacad.ru	3

№ п/п	№ раздела	№ и название занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
		ради (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))			
Тема 6 <i>Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена и его анализ</i>	Лекция № 6 Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена и его анализ		ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
	Лабораторная работа № 4 Определение коэффициента теплоотдачи воздуха методом регулярного режима (рабочая тетрадь MS Office: Word)				
Тема 7 <i>Основы теории подобия</i>	Лекция № 7 Основы теории подобия		ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
Тема 8 <i>Применение теории подобия для описания теплоотдачи</i>	Лекция № 8 Применение теории подобия для описания теплоотдачи		ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
	Лабораторная работа № 5 Определение коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости (рабочая тетрадь MS Office: Word)				
Тема 9 <i>Теплообмен излучением</i>	Лекция № 9 Теплообмен излучением		ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
	Лабораторная работа № 6 Определение коэффициента излучения и интегральной степени черноты твёрдого тела (рабочая тетрадь MS Office: Word)				
Тема 10 <i>Теплопередача через</i>	Лекция № 10 Теплопередача через плос-		ОПК-3.3 ОПК-4.1	Webinar, Яндекс Телемост	2

№ п/п	№ раздела	№ и название занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
	результативную и цилиндрическую стенку	ую и цилиндрическую стенку	ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	мост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	
		Практическая работа № 4 Расчет теплопередачи: определите линейный коэффициент теплопередачи, линейную плотность теплового потока, температуру наружной поверхности паропровода (расчет и представление результатов с использованием информационных технологий в рабочей тетради (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))		Защита практической работы № 4 COUNT.EXE в виде решения задач Office: Word, Excel sdo.timacad.ru	4
	Тема 11 <i>Теплопередача теплообменных аппаратах</i>	Лекция № 11 Теплопередача в теплообменных аппаратах	ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
		Лабораторная работа № 7 Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе (рабочая тетрадь MS Office: Word)		Защита лабораторной работы № 7 COUNT.EXE (sdo.timacad.ru) Тестирование sdo.timacad.ru	3
2.	Раздел 2 «Массообмен»				16
	Тема 12 <i>Общие сведения о массообменных процессах</i>	Лекция № 12 Основные понятия и определения массообмена. Способы переноса вещества в пространстве. Основные массообменные процессы. Фазовое концентрационное равновесие	ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
	Тема 13 <i>Уравнение массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов</i>	Лекция № 13 Основное уравнение массопередачи. Коэффициент массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов. Движущая сила массообменных процессов. Модифицированные уравнения массопередачи	ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	2
	Тема 14	Лекция № 14	ОПК-3.3	Webinar,	2

№ п/п	№ раздела	№ и название занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
	Диффузия	Закон диффузии Фика. Коэффициент диффузии. Диффузия в газовых и жидкоких средах. Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии. Условия однозначности задач диффузии. Аналогия между диффузией и теплопроводностью	ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	
		Практическая работа № 5 Расчет теплопередачи: определить: коэффициенты массопередачи по газовой фазе и по жидкой фазе; во сколько раз диффузионное сопротивление жидкокой фазы отличается от диффузионного сопротивления газовой фазы (расчет и представление результатов с использованием информационных технологий в рабочей тетради (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))		Защита практической работы № 5 COUNT.EXE в виде решения задач Office: Word, Excel sdo.timacad.ru	4
	Тема 15 <i>Конвективный массообмен. Массоотдача</i>	Лекция № 15 Определение конвективного массообмена. Массоотдача. Диффузионный пограничный слой. Уравнение массоотдачи Щукарева. Коэффициент массоотдачи. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Критериальные уравнения	ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	3
	Тема 16 <i>Массопередача в системах с твердой фазой</i>	Лекция № 16 Классификация материалов, составляющих твердую фазу. Перенос распределляемого вещества в твердой фазе. Уравнение массопроводности. Дифференциальное уравнение массопроводности	ОПК-3.3 ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 ОПК-4.4 ОПК-4.6 ОПК-4.7	Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube (sdo.timacad.ru)	3

Таблица 5

Перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины

№ п/п	№ раздела и темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
----------	------------------	---

№ п/п	№ раздела и темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
Раздел 1 «Теплообмен»		
1.	Тема 1 Основные понятия и определения теплообмена. Способы распространения теплоты в пространстве. Закон теплопроводности Фурье	Теплопроводность пористых и волокнистых материалов. Современные теплоизоляционные материалы и предъявляемые к ним требования (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
2.	Тема 2 Стационарная теплопроводность	Практическое применение уравнений для расчета стационарной теплопроводности через плоскую и цилиндрическую стенки (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
3.	Тема 3 Нестационарная теплопроводность	Запись дифференциального уравнения теплопроводности в цилиндрической и сферической системах координат (одномерные задачи) (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
4.	Тема 4 Анализ решений дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности	Методы решения дифференциального уравнения теплопроводности (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
5.	Тема 5 Конвективный теплообмен. Теплоотдача	Изменение структуры теплового пограничного слоя по длине поверхности теплообмена (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
6.	Тема 6 Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена и его анализ	Сравнение дифференциальных уравнений теплопроводности и конвективного теплообмена (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
7.	Тема 7 Основы теории подобия	π – теорема Бэкингема (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
8.	Тема 8 Применение теории подобия для описания теплоотдачи	Проблема масштабного перехода при перенесении результатов лабораторных исследований на промышленные объекты и вызывающие ее причины (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
9.	Тема 9 Теплообмен излучением	Излучение газов и паров (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
10.	Тема 10 Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку	Критический диаметр теплоизоляции (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
11.	Тема 11 Теплопередача в теплообменных аппаратах	Конструкции регенеративных теплообменников. Особенности их теплового расчета (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
Раздел 2 «Массообмен»		
12.	Тема 12	Ионный обмен, мембранные методы разделения растворов

№ п/п	№ раздела и темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
	Общие сведения о массообменных процессах	(ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
13.	Тема 13 Уравнение массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов	Аналогия между теплопередачей и массопередачей (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
14.	Тема 14 Диффузия	Аналогия между теплопроводностью и диффузией (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
15.	Тема 15 Конвективный массообмен. Массоотдача	Аналогия между уравнениями теплоотдачи и массоотдачи (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))
16.	Тема 16 Массопередача в системах с твердой фазой	Структура материалов твердой фазы. Основные механизмы массопереноса в твердой фазе (ОПК-3 (ОПК-3.3), ОПК-4 (ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7))

5. Образовательные технологии

В процессе преподавания дисциплины «Тепломассообмен» для организации условий освоения студентами компетенций используются следующие формы теоретического и практического обучения, соответствующие традиционной (объяснительно-иллюстративной), активные (проблемное обучение, коллективно-групповое обучение) и интерактивные технологии (дистанционная технология, электронное обучение, ТВ-технологии, сетевые технологии), в том числе с применением современных программных продуктов (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint), цифровых платформ (Webinar, Яндекс Телемост, Meanchart, Rutube) и цифровых инструментов (Google Jamboard, mts-link).

Согласно учебному плану и графику учебного процесса для организации процесса освоения студентами дисциплины используются следующие формы теоретического и практического обучения:

- *основные формы теоретического обучения*: лекции, консультации, экзамены;
- *основные формы практического обучения*: лабораторные работы и практические занятия;
- *дополнительные формы организации обучения*: курсовая работа (КР);
- *информационные*: иллюстрация слайд-презентаций, самостоятельная работа студентов с электронными образовательными ресурсами при подготовке к лекциям, лабораторным и практическим работам;
- *активного обучения*: консультации по сложным, непонятным вопросам; опережающая самостоятельная работа студентов по изучению нового материала до его изучения в ходе аудиторных занятий; работа в команде при выполнении лабораторных работ и практических занятий;
- *интерактивное обучение*: посещение специализированных выставок (экскурсии).

В процессе реализации форм обучения предполагается применение различных методов и средства обучения, соответствующих традиционной и инновационным технологиям.

Таблица 6
Применение активных и интерактивных образовательных технологий

№ п/п	Тема и форма занятия		Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий
1.	Тема 1 Основные понятия и определения теплообмена. Способы распространения теплоты в пространстве. Закон теплопроводности Фурье	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
2.	Тема 2 Стационарная теплопроводность	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ЛР	Бригадно-лабораторный метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа студентов с учебно-методическим порталом, электронными ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))
		ПР	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.	Тема 3 Нестационарная теплопроводность	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ЛР	Бригадно-лабораторный метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа студентов с учебно-методическим порталом, электронными ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))
4.	Тема 4 Анализ решений дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
5.	Тема 5 Конвективный теплообмен. Теплоотдача	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ЛР	Бригадно-лабораторный метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа студентов с учебно-методическим порталом, электронными ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))
		ПР	Бригадно-практический метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа

№ п/п	Тема и форма занятия	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	
		студентов с учебно-методическим порталом, электронными ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))	
6.	Тема 6 Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена и его анализ	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ЛР	Бригадно-лабораторный метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа студентов с учебно-методическим порталом, электронными ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))
7.	Тема 7 Основы теории подобия	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
8.	Тема 8 Применение теории подобия для описания теплоотдачи	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ЛР	Бригадно-лабораторный метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа студентов с учебно-методическим порталом timacad.ru, электронными ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))
9.	Тема 9 Теплообмен излучением	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ЛР	Бригадно-лабораторный метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа студентов с учебно-методическим порталом timacad.ru, электронными ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad, Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))
10.	Тема 10 Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ПР	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))
11.	Тема 11 Теплопередача в теплообменных аппаратах	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ЛР	Бригадно-лабораторный метод. Информационные и коммуникационные технологии (работа студентов с учебно-методическим порталом timacad.ru, электронными ресурсами, с современными программными продуктами (Mathcad,

№ п/п	Тема и форма занятия	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	
			Matlab, MS Office: Word, Excel, PowerPoint))
12.	Тема 12 Общие сведения о массообменных процессах	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
13.	Тема 13 Уравнение массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
14.	Тема 14 Диффузия	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ПР	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))
15.	Тема 15 Конвективный массообмен. Массоотдача	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
16.	Тема 16 Массопередача в системах с твердой фазой	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов

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

При изучении дисциплины «Тепломассообмен» в течение одного семестра используются следующие виды контроля самостоятельная работа студентов в виде выполнения курсовой работы.

- текущий,
- промежуточный.

Текущий контроль знаний включает:

3 курс, 6 семестр – защита лабораторных работ и практических занятий и курсовая работа.

Промежуточный контроль знаний включает:

3 курс, 7 семестр – тестирование.

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы

6.1.1. Пример вопросов и задания для защиты лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. «Определение коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом цилиндрического слоя»

1. При каких условиях – стационарных или нестационарных – получено в работе уравнение для определения коэффициента теплопроводности?
2. Какой физический смысл коэффициента теплопроводности?
3. Для каких материалов коэффициент теплопроводности больше и почему: а) для изоляционных материалов; б) для металлов?

Лабораторная работа № 2. «Определение зависимости коэффициента теплопроводности воздуха от температуры методом нагретой нити»

1. Напишите уравнение теплопроводности Фурье.
2. От чего зависит коэффициент теплопроводности газов? Каков порядок его величины?
3. Поясните величины, входящие в расчетное уравнение (6). Как оно выводится?
4. Поясните устройство и принцип действия экспериментальной установки.
5. Какие величины и с помощью каких средств измеряются в опытах?
6. Каким образом определяется температура нити?
7. Для чего строится в работе зависимость $\Phi = f(t_h)$?
8. Как изменяется теплопроводность воздуха с температурой?

Лабораторная работа № 3. «Определение коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на обогреваемом цилиндре»

1. Что такое конвективный теплообмен, теплоотдача, естественная конвекция?
2. Какие критерии являются определяющими в естественной конвекции?
9. Что такое "определяющая температура" и "определяющий" размер?
10. Каков физический смысл критерия Грасгофа?
11. Какая температура и какой геометрический размер берутся в качестве определяющих при расчете естественной конвекции?
12. Поясните схему экспериментальной установки. Какие величины измеряются в ходе эксперимента и с помощью каких приборов?
13. Какие величины рассчитываются по экспериментальным данным в данной лабораторной работе и с помощью каких формул?
14. Напишите уравнение теплоотдачи и поясните его.
15. Напишите общий вид критериального уравнения для расчета коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции и поясните, какие из входящих в него критериев являются определяющими и какие - определяемыми. Каков их физический смысл?

Лабораторная работа № 4. «Определение коэффициента теплоотдачи воздуха методом регулярного режима»

1. Что такое коэффициент температуропроводности, что он собой выражает?
2. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности и объясните его.
3. Что такое критерий (число) Био? Каков его физический смысл?
4. Запишите выражение для критерия Fo и поясните его физический смысл.
5. Что такое «регулярный режим нагрева»?
6. Какой общий вид имеет решение дифференциального уравнения теплопроводности при $Bi \rightarrow 0$?
7. Что такое «температура нагрева»?

8. Напишите формулу, по которой вычисляется коэффициент теплоотдачи в работе и поясните её.

9. Расскажите порядок выполнения работы. Какие величины и с помощью каких средств измеряются в работе?

10. Коэффициент теплоотдачи для газов велик или мал и почему? В какой среде коэффициент теплоотдачи выше - в жидкой или газообразной и почему?

Лабораторная работа № 5. «Определение коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости»

1. Какие режимы кипения вы знаете?

2. Почему коэффициент теплоотдачи при пленочном кипении ниже, чем при пузырьковом?

3. В чем состоит переход от пузырькового режима кипения к пленочному?

4. Какой порядок величин имеют коэффициенты теплоотдачи при кипении?

5. Зависимости какого вида используются для расчета коэффициентов теплоотдачи при кипении?

6. Объясните схему экспериментальной установки и порядок проведения опыта.

7. Какие величины и с помощью каких измерительных средств определяются в эксперименте?

8. Насколько отличаются опытные и расчетные коэффициенты теплоотдачи?

Лабораторная работа № 6. «Определение коэффициента излучения и интегральной степени черноты твёрдого тела»

1. Какие тела называют абсолютно черными?

2. Запишите и объясните закон Стефана-Больцмана.

3. Что такое коэффициент излучения абсолютно черного тела и серого тела?

4. Что такое степень черноты тела?

5. Опишите экспериментальную установку для определения коэффициента излучения и интегральной степени черноты тела.

6. Назовите измеряемые и подсчитывающиеся по формулам величины. Как они измеряются? Как подсчитываются?

Лабораторная работа № 7. «Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе»:

1. Что такое коэффициент теплопередачи?

2. Что такое коэффициент теплоотдачи?

3. В каком случае теплопередача интенсивнее: у гладкой трубы или ребристой?

4. Со стороны какого теплоносителя обрывают поверхность при теплопередаче?

5. Какая разница между теплоотдачей и теплопередачей?

6. Объясните устройство и работу экспериментальной установки.

7. Какие величины измеряются в данной лабораторной работе и с помощью каких средств?

8. Какие величины рассчитываются в данной лабораторной работе и по каким формулам?

6.1.2. Перечень практических занятий

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

Задания для расчета конвективного теплообмена

Задача 1. Определите коэффициент теплоотдачи для трубы, омываемой поперечным потоком воздуха (рис), если наружный диаметр трубы $d = 20$ мм, температура воздуха $t_{\infty} = 30^\circ\text{C}$, скорость $\omega = 5$ м/с и угол атаки $\varphi = 60$ град.

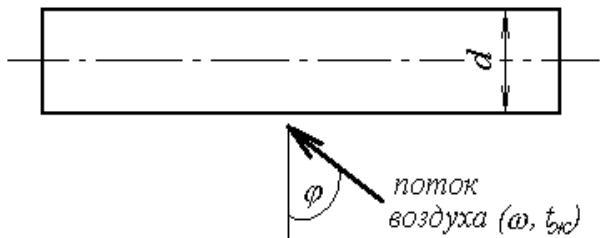


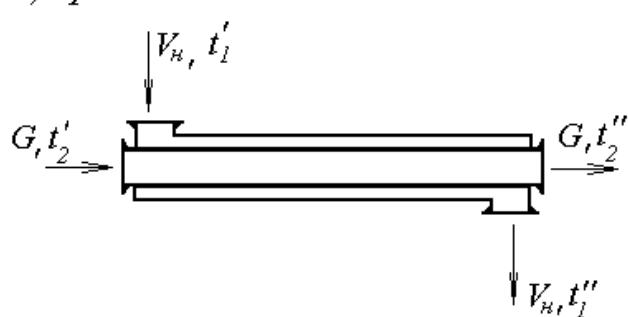
Рис. 1. Схема омывания трубы потоком воздуха

Задача 2. Горизонтальная труба длиной $L = 1$ м и наружным диаметром $d = 0,06$ м расположена в помещении, температура воздуха в котором $t_e = 20^\circ\text{C}$. Средняя температура поверхности трубы $t_c = 180^\circ\text{C}$. Определите величину коэффициента теплоотдачи от трубы к воздуху, а также тепловой поток, теряемый трубой.

Задание для расчета теплообменного аппарата

Задача 3. Определите поверхность нагрева стального рекуперативного газовоздушного теплообменника (толщина стенок $\delta_c = 3$ мм) при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителей (рис), если объемный расход топочных газов при нормальных условиях $V_h = 15000$ м³/ч, средний коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности нагрева $\alpha_1 = 70$ Вт/(м²·К), от поверхности нагрева к воде $\alpha_2 = 500$ Вт/(м²·К), коэффициент теплопроводности материала стенки трубы (стали) $\lambda = 50$ Вт/(м·К), начальные и конечные температуры газа и воды равны соответственно $t_1' = 500^\circ\text{C}$, $t_1'' = 250^\circ\text{C}$, $t_2' = 10^\circ\text{C}$, и $t_2'' = 90^\circ\text{C}$, теплоемкость топочных газов $c_2 = 1,15$ кДж/(кг·К), плотность $\rho = 1,23$ кг/м³. Определите также расход воды G , кг/ч через теплообменник. Изобразите график изменения температур теплоносителей для обеих схем.

а) прямоток



б) противоток

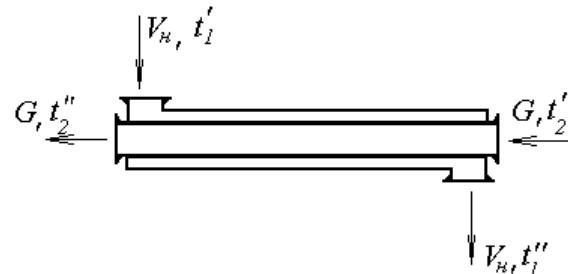


Рис. 2. Схема движения теплоносителей в теплообменном аппарате

Задание для расчета теплопередачи

Задача 4. Паропровод диаметром 216/200 мм покрыт слоем изоляции (рис). Коэффициент теплопроводности материала трубы $\lambda_1 = 30 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Температуры пара $t_{ж1} = 300$ и окружающего воздуха $t_{ж2} = 20^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи от пара к трубе $\alpha_1 = 100 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, коэффициент теплоотдачи от трубы к окружающему воздуху $\alpha_2 = 8,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

1. Подберите материал изоляции, обеспечивающей тепловые потери менее 150 Вт/м. 2. Определите линейный коэффициент теплопередачи k_l , $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, линейную плотность теплового потока q_l , $\text{Вт}/\text{м}$, температуру наружной поверхности паропровода t_3 , $^\circ\text{C}$.

Задача 5. В массообменном аппарате, в котором контактируют газовая и жидккая фазы, коэффициенты массоотдачи имеют следующие значения: коэффициент массоотдачи в газовой фазе равен $\beta_y = 3 \cdot 10^{-4} \text{ кмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot (\text{кмоль}/(\text{кмоль смеси})))$, коэффициент массоотдачи в жидкой фазе $\beta_x = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль}/(\text{кмоль} \beta_y \cdot \text{с} \cdot (\text{кмоль}/(\text{кмоль смеси})))$. Определить: а) коэффициенты массопередачи по газовой фазе K_y и по жидкой фазе K_x ; б) во сколько раз диффузионное сопротивление жидкой фазы отличается от диффузионного сопротивления газовой фазы.

6.1.3. Перечень тестов, выносимых на промежуточную аттестацию

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

1. Конвекция возможна...

1. в жидкости и газе;
2. в газе;
3. в твердом теле;
4. в вакууме.

2. Теплообменником называют аппарат, предназначенный...

1. для подвода тепла к теплоносителям;
2. для отвода теплоты от теплоносителя;
3. для сообщения теплоты одному из теплоносителей в результате его отвода от 4. другого теплоносителя;
5. для сообщения теплоты одному из теплоносителей в результате его сообщения к другому теплоносителю.

3. *Теплообменный аппарат, в котором теплота от горячего к холодному теплоносителю передается через разделительную стенку, называется...*

1. регенеративным;
2. смесительным;
3. рекуперативным.

4. *Наружный диаметр трубопровода равен $d = 20 \text{ мм}$. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубопровода к обтекающей ее среде равен $\alpha = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, коэффициент теплопроводности одного теп-*

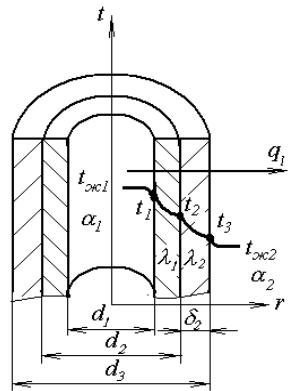


Рис. 3. Расчетная схема паропровода

изолирующего материала $\lambda_1 = 0,06 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ К})$, коэффициент теплопроводности другого теплоизолирующего материала $\lambda_2 = 0,14 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ К})$. Дать заключение о пригодности теплоизолирующих материалов для теплоизоляции трубопровода:

1. Пригоден первый материал;
2. Пригоден второй материал;
3. Пригодны оба материала.

5. Процесс переноса массы одновременно конвекцией и диффузией называется:

1. Диффузией;
2. Массоотдачей;
3. Конвекцией;
4. Конвективным массообменом.

6. Равновесие в массообмене – это:

1. Установившийся процесс массообмена в аппарате.
2. Равенство концентраций распределяемого вещества во взаимодействующих фазах.
3. Соотношение концентраций распределяемого вещества во взаимодействующих фазах при бесконечно большом времени контакта фаз.
4. Независимость концентрации распределяемого вещества в фазе, взаимодействующей с другой фазой, от ее концентрации.

7. Конвекция возможна:

1. В жидкости и газе;
2. В газе;
3. В твердом теле;
4. В жидкости, газе, твердом теле и в вакууме.

8. Массопередача – это:

1. Перенос вещества из ядра потока к поверхности раздела фаз.
2. Перенос вещества внутри фазы.
3. Перенос вещества из одной фазы в другую через поверхность раздела фаз.
4. Перенос вещества из рабочего состояния в равновесное состояние.

9. Фаза в массопередаче – это:

1. Вещество, находящееся под электрическим напряжением.
2. Термодинамическая система, находящаяся в аппарате.
3. Часть термодинамической системы, находящейся в аппарате, обладающая однородными свойствами.
4. Газовая или жидккая среда в аппарате.

10. Основное уравнение массопередачи описывает:

1. Массопередачу при прямоточном движении фаз в аппарате.
2. Массопередачу при противоточном движении фаз в аппарате.
3. Массопередачу при стационарном режиме работы аппарата
4. Массопередачу независимо от условий работы аппарата.

11. Уравнение массоотдачи описывает:

1. Массообмен между двумя фазами через поверхность раздела фаз.

2. Массообмен между поверхностью раздела фаз и ядром потока фазы через диффузионный пограничный слой, когда концентрация распределяемого вещества у поверхности раздела фаз больше, чем в ядре потока.

4. Массообмен между поверхностью раздела фаз и ядром потока фазы через диффузионный пограничный слой, когда концентрация распределяемого вещества у поверхности раздела фаз меньше, чем в ядре потока.

12. Модифицированное уравнение массопередачи применяют:

1. Когда поверхность фазового контакта геометрически неопределенна.
2. При противотоке.
3. При прямотоке.
4. При нестационарной массопередаче.

13. Средняя движущая сила процесса при массопередаче в массообменном аппарате в общем случае вычисляется:

1. Как среднелогарифмическая величина.
2. Через число единиц переноса.
3. Как среднеарифмитическая величина.
4. Как среднелогарифмическая величина с поправочным коэффициентом, учитывающим схему движения фаз через аппарат.

14. Рабочая линия процесса для массообменного аппарата линейна:

1. При любом способе выражения состава фаз.
2. При определенном способе выбора состава фаз.
3. При прямотоке.
4. При противотоке.

15. Для реализации процесса теплообмена используют...

1. шахтное и распределенное распределение труб;
2. шахматное и координированное распределение труб;
3. шахматное и коридорное расположение труб;
4. шахматное и распределенное расположение труб.

16. Для прямотока...

1. конечная температура холодной жидкости всегда равна температуре горячей жидкости;
2. конечная температура холодной жидкости всегда выше конечной температуры горячей жидкости;
3. конечная температура холодной жидкости всегда выше начальной температуры горячей жидкости;
4. конечная температура холодной жидкости всегда ниже конечной температуры горячей жидкости.

17. В каких средах невозможны одновременно теплопроводность и конвекция...

1. в жидкостях;
2. в твердых телах;
3. в газах.

18. Какую размерность имеет коэффициент теплопередачи K ?

1. Вт/(м·К);
2. Дж/(кг·К);
3. м²/с;

4. $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

19. Какой из процессов отсутствует при теплообмене стенки с капельной жидкостью...

1. конвекция;
2. излучение;
3. теплопроводность;
4. естественная конвекция.

20. В законе Стефана-Больцмана лучеиспускательная способность тела E :

1. Прямо пропорциональна температуре в четвертой степени;
2. Прямо пропорциональна температуре во второй степени;
3. Обратно пропорциональна температуре в четвертой степени;
4. Обратно пропорциональна температуре во второй степени.

6.1.4. Тематика заданий на курсовую работу

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

Курсовая работа выполняется по теме 11 «Теплопередача в теплообменных аппаратах». Тема курсовой работы: «Расчет и проектирование рекуперативного теплообменного аппарата». Студенты выполняют курсовую работу в соответствии с индивидуальным заданием. Индивидуальные задания отличаются друг от друга: 1) назначением теплообменного аппарата (нагрев, охлаждение, конденсация пара, парообразование), типом рассчитываемого и проектируемого теплообменного аппарата (в заданиях используются три типа теплообменных аппаратов: «труба в трубе», кожухотрубный, пластинчатый), видом теплоносителя (вода, насыщенный водяной пар, воздух), схемой движения теплоносителей в аппарате (прямоток, противоток, многоходовое движение), в случае конденсации пара – расположением теплообменника в пространстве (горизонтальное или вертикальное).

При выполнении курсовой работы используют основные цифровые инструменты (Mathcad, Matlab, AUTOCAD, КОМПАС, MS Office: Word, Excel, PowerPoint).

Курсовая работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Задание к курсовой работе.
3. Практическая часть.
4. Заключение.
5. Библиографический список.

Текст условия курсовой работы должен совпадать с текстом в методических указаниях, включая таблицы, при их наличии. Набор текста в формате Word, шрифт Times New Roman 12, листы формат А4, чертежи в формате листа А1.

Далее излагается *теоретический материал*, лежащий в основе решения задачи, включающий в себя основные определения, формулы расчетов показателей и др.

В практической части излагается подробное решение курсовой работы, графические чертежи оформляются на листе ватмана А1.

В заключении необходимо акцентировать внимание на существенные отклонения в полученных результатах, указать их возможные причины.

Номер получаемого студентом задания соответствует его номеру в журнале преподавателя. Ниже представлены задания на курсовую работу. Студенты выполняют курсовую работу в соответствии с индивидуальным заданием. Индивидуальные задания отличаются друг от друга: типом выпарного аппарата, производительностью выпарной установки по упариваемому раствору, способом циркуляции раствора через выпарной аппарат (естественная или принудительная), параметрами греющего и вторичного пара. Номер получаемого студентом задания соответствует его номеру в журнале преподавателя. Ниже представлены задания на курсовую работу.

1. Рассчитать и спроектировать прямоточный кожухотрубный теплообменник для нагрева воздуха водой. **Исходные данные:** расход воздуха $G_x = 3000 \text{ кг/ч}$; температура воздуха $t_{x.h} = 20^\circ\text{C}$; $t_{x.k} = 80^\circ\text{C}$; температура воды $t_{g.h} = 150^\circ\text{C}$; $t_{g.k} = 100^\circ\text{C}$.

2. Рассчитать и спроектировать противоточный теплообменник типа «труба в трубе» для нагрева воды водой. **Исходные данные:** расход холодной воды $G_x = 900 \text{ кг/ч}$; температура холодной воды $t_{x.h} = 20^\circ\text{C}$; $t_{x.k} = 70^\circ\text{C}$; температура горячей воды $t_{g.h} = 95^\circ\text{C}$; $t_{g.k} = 50^\circ\text{C}$.

3. Рассчитать и спроектировать пластинчатый теплообменник для конденсации водяного пара водой. **Исходные данные:** расход пара $G_g = 3000 \text{ кг/ч}$; температура воды $t_{x.h} = 20^\circ\text{C}$; $t_{x.k} = 70^\circ\text{C}$; давление пара $p_g = 7 \text{ ати}$.

4. Рассчитать и спроектировать горизонтальный кожухотрубный теплообменник для нагрева воздуха водяным паром. **Исходные данные:** расход воздуха $G_x = 5000 \text{ кг/ч}$; температура воздуха $t_{x.h} = 20^\circ\text{C}$; $t_{x.k} = 100^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_g = 11 \text{ ати}$.

5. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для охлаждения воздуха воздухом. **Исходные данные:** расход охлаждаемого воздуха $G_g = 4000 \text{ кг/ч}$; температура горячего воздуха $t_{g.h} = 90^\circ\text{C}$; $t_{g.k} = 35^\circ\text{C}$; температура холодного воздуха $t_{x.h} = 20^\circ\text{C}$; $t_{x.k} = 50^\circ\text{C}$.

6. Рассчитать и спроектировать пластинчатый теплообменник для нагрева воды водяным паром. **Исходные данные:** расход воды $G_x = 6000 \text{ кг/ч}$; температура холодной воды $t_{x.h} = 70^\circ\text{C}$; $t_{x.k} = 95^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_g = 9 \text{ ати}$.

7. Рассчитать и спроектировать вертикальный кожухотрубный теплообменник для нагрева воды водяным паром. **Исходные данные:** расход воды $G_x = 8000 \text{ кг/ч}$; температура воды $t_{x.h} = 70^\circ\text{C}$; $t_{x.k} = 95^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_g = 12 \text{ ати}$.

8. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для охлаждения воздуха водой. **Исходные данные:** расход холодного воздуха $G_g = 2000 \text{ кг/ч}$; температура воздуха $t_{g.h} = 110^\circ\text{C}$; $t_{g.k} = 35^\circ\text{C}$; температура воды $t_{x.h} = 15^\circ\text{C}$; $t_{x.k} = 35^\circ\text{C}$.

9. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник (кипятильник) для выпаривания воды водяным паром. **Исходные данные:** расход вы-

париваемой воды $G_x = 4000$ кг/ч; начальная температура воды $t_{x.h.} = 100^\circ\text{C}$; давление выпариваемой воды – атмосферное; давление греющего пара $p_r = 8$ ати.

10. Рассчитать и спроектировать пластинчатый теплообменник для охлаждения воды водой. **Исходные данные:** расход горячей воды $G_r = 5000$ кг/ч; температура горячей воды $t_{r.h.} = 130^\circ\text{C}$; $t_{r.k.} = 40^\circ\text{C}$; температура холодной воды $t_{x.h.} = 35^\circ\text{C}$; $t_{x.k.} = 60^\circ\text{C}$.

11. Рассчитать и спроектировать горизонтальный теплообменник типа «труба в трубе» для конденсации водяного пара водой. **Исходные данные:** расход пара $G_r = 1000$ кг/ч; давление преюущего пара – атмосферное; температура воды $t_{x.h.} = 25^\circ\text{C}$, $t_{x.k.} = 40^\circ\text{C}$.

12. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для охлаждения воздуха водой. **Исходные данные:** расход воздуха $G_r = 2000$ кг/ч; температура воздуха $t_{r.h.} = 130^\circ\text{C}$, $t_{r.k.} = 60^\circ\text{C}$; температура воды $t_{x.h.} = 15^\circ\text{C}$, $t_{x.k.} = 70^\circ\text{C}$.

13. Рассчитать и спроектировать вертикальный кожухотрубный теплообменник для конденсации водяного пара воздухом. **Исходные данные:** Расход пара $G_r = 2500$ кг/ч; давление пара $p_r = 3$ ати; $t_{x.h.} = 15^\circ\text{C}$, $t_{x.k.} = 90^\circ\text{C}$.

14. Рассчитать и спроектировать теплообменник типа «труба в трубе» для нагрева воды водяным паром. **Исходные данные:** расход воды $G_x = 1500$ кг/ч; температура холодной воды $t_{x.h.} = 10^\circ\text{C}$, $t_{x.k.} = 65^\circ\text{C}$; давление пара $p_r = 8$ ати.

15. Рассчитать и спроектировать пластинчатый теплообменник для нагрева воды водой. **Исходные данные:** расход холодной воды $G_x = 5000$ кг/ч; температура холодной воды $t_{x.h.} = 15^\circ\text{C}$, $t_{x.k.} = 65^\circ\text{C}$; температура горячей воды $t_{r.h.} = 140^\circ\text{C}$, $t_{r.k.} = 90^\circ\text{C}$.

16. Рассчитать и спроектировать вертикальный кожухотрубный теплообменник для конденсации водяного пара водой. **Исходные данные:** расход пара $G_r = 1800$ кг/ч; давление пара $p_r = 5$ ати; температура холодной воды $t_{x.h.} = 20^\circ\text{C}$, $t_{x.k.} = 80^\circ\text{C}$.

17. Рассчитать и спроектировать вертикальный кожухотрубный теплообменник для нагрева воздуха водяным паром. **Исходные данные:** расход воздуха $G_x = 2000$ кг/ч; температура воздуха $t_{x.h.} = -20^\circ\text{C}$, $t_{x.k.} = 10^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_r = 4$ ати.

18. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный кипятильник воды водяным паром. **Исходные данные:** расход выпариваемой воды $G_x = 1500$ кг/ч; вода на входе в кипятильник нагрета до температуры кипения; давление выпариваемой воды $p_x = 2$ ати; давление греющего пара $p_r = 6$ ати.

19. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для охлаждения воздуха водой. **Исходные данные:** расход воздуха $G_r = 3000$ кг/ч; температура воздуха $t_{r.h.} = 150^\circ\text{C}$, $t_{r.k.} = 40^\circ\text{C}$; температура воды $t_{x.h.} = 15^\circ\text{C}$, $t_{x.k.} = 70^\circ\text{C}$.

20. Рассчитать и спроектировать горизонтальный кожухотрубный теплообменник для нагрева воздуха водяным паром. **Исходные данные:** расход воздуха $G_x = 2500$ кг/ч; температура воздуха $t_{x.h.} = -10^\circ\text{C}$, $t_{x.k.} = 50^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_r = 9$ ати.

21. Рассчитать и спроектировать вертикальный кожухотрубный теплообменник для нагрева воздуха водяным паром. **Исходные данные:** расход воздуха $G_x = 1500$ кг/ч; температура воздуха $t_{x.h.} = 0^\circ\text{C}$, $t_{x.k.} = -10^\circ\text{C}$; давление пара $p_r = 11$ ати.

22. Рассчитать и спроектировать пластинчатый конденсатор водяного па-

ра водой. **Исходные данные:** расход пара $G_g = 2000$ кг/ч; давление пара $p_g = 2$ ати; температура воды $t_{x,n} = 20^\circ\text{C}$, $t_{x,k} = 50^\circ\text{C}$.

23. Рассчитать и спроектировать пластинчатый теплообменник для нагрева воды паром. **Исходные данные:** расход воды $G_x = 4000$ кг/ч; температура воды $t_{x,n} = 35^\circ\text{C}$, $t_{x,k} = 65^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_g = 8$ ати.

24. Рассчитать и спроектировать вертикальный кожухотрубный теплообменник для выпаривания воды (кипятильник) водяным паром. **Исходные данные:** расход воды $G_x = 2500$ кг/ч; вода на входе в кипятильник нагрета до температуры кипения; давление выпариваемой воды $p_x = 3$ ати; давление греющего пара $p_g = 9$ ати.

25. Рассчитать и спроектировать пластинчатый теплообменник для нагрева воды водяным паром. **Исходные данные:** расход воды $G_x = 4000$ кг/ч; температура воды $t_{x,n} = 50^\circ\text{C}$, $t_{x,k} = 90^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_g = 6$ ати.

26. Рассчитать и спроектировать теплообменник типа «труба в трубе» для нагрева воды водяным паром. **Исходные данные:** расход воды $G_x = 800$ кг/ч; температура воды $t_{x,n} = 30^\circ\text{C}$, $t_{x,k} = 80^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_g = 8$ ати.

27. Рассчитать и спроектировать теплообменник типа «труба в трубе» для охлаждения воды водой. **Исходные данные:** расход горячей воды $G_g = 500$ кг/ч; температура горячей воды $t_{g,n} = 90^\circ\text{C}$, $t_{g,k} = 50^\circ\text{C}$; температура холодной воды $t_{x,n} = 15^\circ\text{C}$, $t_{x,k} = 40^\circ\text{C}$.

28. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для охлаждения воды водой. **Исходные данные:** расход горячей воды $G_g = 7000$ кг/ч; температура горячей воды $t_{g,n} = 130^\circ\text{C}$, $t_{g,k} = 80^\circ\text{C}$; температура холодной воды $t_{x,n} = 30^\circ\text{C}$, $t_{x,k} = 75^\circ\text{C}$.

29. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для нагрева воды водой. **Исходные данные:** расход холодной воды $G_x = 4000$ кг/ч; температура холодной воды $t_{x,n} = 30^\circ\text{C}$, $t_{x,k} = 60^\circ\text{C}$; температура горячей воды $t_{g,n} = 150^\circ\text{C}$, $t_{g,k} = 70^\circ\text{C}$.

30. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для нагрева воды водой. **Исходные данные:** расход холодной воды $G_x = 6000$ кг/ч; температура холодной воды $t_{x,n} = 40^\circ\text{C}$, $t_{x,k} = 80^\circ\text{C}$; температура горячей воды $t_{g,n} = 120^\circ\text{C}$, $t_{g,k} = 100^\circ\text{C}$.

6.1.5. Перечень вопросов для защиты курсовой работы

1. Поясните, чем обусловлен выбор схемы движения теплоносителей (прямоточная или противоточная) в теплообменном аппарате. Каковы преимущества и недостатки той и другой схемы?

2. Какой вид критериальной зависимости применяется при расчете коэффициента теплоотдачи при вынужденном установившемся движении теплоносителя?

3. Какой вид критериальной зависимости применяется при расчете коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции?

4. Что создает термическое сопротивление теплоотдаче при пленочной конденсации пара?

5. Какие режимы теплоотдачи наблюдаются при кипении жидкостей? Какой режим является рабочим и почему?

6. Какие существуют способы интенсификации теплоотдачи?
7. Напишите формулу для коэффициента теплопередачи для плоской многослойной стенки.
8. С какой стороны стенки при теплопередаче надо интенсифицировать теплообмен и почему?
9. Назовите преимущества и недостатки теплообменника типа «труба в трубе».
10. Назовите преимущества и недостатки кожухотрубного теплообменника.
11. Назовите преимущества и недостатки пластинчатого теплообменника.
12. По какой формуле рассчитывается средняя разность температур в теплообменном аппарате при прямотоке, противотоке и в многоходовом теплообменнике?
13. Почему при расчете коэффициента теплоотдачи со стороны конденсирующегося пара необходимо учитывать ориентацию теплообменника в пространстве (вертикальное или горизонтальное расположение)?
14. При прочих равных условиях у какого теплоносителя – жидкого или газообразного коэффициенты теплоотдачи больше и почему?
15. Почему в теплообменниках с теплоносителями «жидкость» и «газ» оребряют поверхность теплообмена, обращенную к газу?
16. В каком случае коэффициент теплоотдачи самый маленький и в каком самый большой: а) теплоноситель – газ, б) теплоноситель – жидкость, в) теплоноситель – конденсирующийся насыщенный пар?
17. Каким образом можно увеличить коэффициент теплоотдачи при движении жидкости или газа в теплообменнике?
18. В каком диапазоне должны быть скорости жидкости и газа в теплообменнике и почему?

6.1.6. Перечень вопросов к экзамену

1. Анализ дифференциального уравнения конвективного массообмена.
2. Аналогия между диффузией и теплопрводностью.
3. Аналогия между теплоотдачей и массоотдачей.
4. Аналогия между теплопередачей и массопередачей.
5. Вывод средней разности температур для прямоточного рекуперативного теплообменного аппарата.
6. Выражение коэффициента массопередачи через коэффициенты массоотдачи.
7. Движущая сила массообменных процессов и ее представление в фазовых « $x - y$ » координатах.
8. Дифференциальное уравнение конвективного массообмена.
9. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена (уравнение энергии).
10. Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии.
11. Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности.

12. Закон теплопроводности Фурье. Коэффициент теплопроводности. Теплопроводность в газах, жидкостях, твердых телах.
13. Интенсификация теплообмена в теплообменных аппаратах.
14. Кинетический расчет процесса массопередачи в системах с твердой фазой.
15. Конвективный массообмен. Уравнение массоотдачи Щукарева. Коэффициент массоотдачи.
16. Конвективный теплообмен. Уравнение теплоотдачи Ньютона. Коэффициент теплоотдачи и его физический смысл. Термическое сопротивление теплоотдачи.
17. Критический диаметр теплоизоляции.
18. Массопередача в системах с твердой фазой. Общая схема массопередачи.
19. Массопередача. Фазовое равновесие в процессах массопередачи.
20. Материальный баланс массообменных процессов.
21. Метод приведения для получения критериев подобия.
22. Модифицированные уравнения массопередачи.
23. Общий вид решений задач нестационарной теплопроводности для пластины, цилиндра и шара при граничном условии 3-го рода.
24. Основное уравнение массопередачи.
25. Основные понятия и определения массообмена. Способы переноса распределяемого вещества в пространстве.
26. Основные понятия и определения теплообмена.
27. Основы теории подобия. Подобие: геометрическое, временное, физических величин, полей физических величин, условий однозначности.
28. Понятие о динамическом, тепловом и диффузионном пограничных слоях. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена (уравнение энергии).
29. Прямоточная и противоточная схемы движения теплоносителей через рекуперативный теплообменник. Преимущества и недостатки противотока и прямотока в рекуперативном теплообменном аппарате.
30. Способы распространения теплоты в пространстве.
31. Средняя движущая сила массообменных процессов для случаев нелинейной и равновесной зависимости.
32. Средняя разность температур рекуперативного теплообменного аппарата при прямотоке, противотоке и перекрестном токе.
33. Стационарная теплопроводность через плоскую стенку: однослоиную и многослойную. Термическое сопротивление стенки.
34. Стационарная теплопроводность через цилиндрическую, стенку: однослоиную и многослойную. Линейная плотность теплового потока. Термическое сопротивление стенки.
35. Тепловое излучение. Основные понятия и определения. Степень черноты. Коэффициенты поглощения, отражения и пропускания.
36. Теплообмен излучением: результирующий тепловой поток между телами в пространстве.

37. Теплоотдача при естественной и вынужденной конвекции.
38. Теплоотдача при кипении.
39. Теплоотдача при конденсации.
40. Теплопередача через плоскую стенку: однослойную и многослойную. Коэффициент теплопередачи. Общее термическое сопротивление.
41. Теплопередача через цилиндрическую стенку: однослойную и многослойную. Линейный коэффициент теплопередачи. Линейное термическое сопротивление теплопередачи цилиндрической стенки.
42. Типы теплообменных аппаратов.
43. Уравнение диффузии Фика. Коэффициент диффузии. Диффузия в газах, жидкостях и твердых телах.
44. Уравнение массопроводности.
45. Условия однозначности задач нестационарной теплопроводности. Краевые условия. Граничные условия 1-го, 2-го, 3-го и 4-го рода.
46. Условия однозначности к дифференциальному уравнению молекулярной диффузии. Краевые условия. Граничные условия 1-го, 2-го, 3-го и 4-го рода.
47. Характеристика основных массообменных процессов.
48. Числа (критерии) подобия конвективного массообмена. Общий вид критерийных уравнений конвективного массообмена при массообмене.
49. Числа (критерии) подобия. 3-я теорема подобия. Критериальные уравнения.
50. Числа (критерии) подобия. Первая теория подобия. Критерии подобия конвективного теплообмена.
51. Числа (критерии) подобия. Первая теория подобия. Критерии подобия конвективного теплообмена.

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 экзамену 3 курс 6 семестр необходимо: выполнить учебный план по дисциплине, включающий в себя посещение лекций, лабораторных работ, практические занятия и тестирования, а также выполнение курсовой работы.

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

Знания оцениваются:

- 3 курс 6 семестр: экзамен по четырехбалльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Таблица 7

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

Таблица 8

Критерии оценивания защиты лабораторных работ

Оценка	Критерии оценивания
лабораторная работа «зачтена»	лабораторная работа выполнена с соблюдением правил техники безопасности; лабораторная работа оформлена, выполнены все задания практическая 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
лабораторная работа «незачтена»	Лабораторная работа выполнена с соблюдением правил техники безопасности; лабораторная 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 9

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 практическая 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

Критерии оценивания курсовой работы

Таблица 10

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	« отлично » – расчетно-пояснительная записка выполнена качественно и не содержит ошибок, студент сделал содержательный, логически стройный доклад, дал вывод по излагаемому материалу, правильно ответил на поставленные вопросы, знает авторов - исследователей (ученых) по данной проблеме. При оформлении курсовая работа выполнен набор текста в формате Word, шрифт TimesNewRoman 14, листы формат А1. При защите курсовая работа студентом продемонстрирован высокий уровень развития профессиональных компетенций, теоретических знаний и наличие практических навыков
Средний уровень «4» (хорошо)	« хорошо » – в расчетно-пояснительной записке имеются отдельные небольшие неточности, студент представил грамотное изложение содержания работы по существу, дал вывод по изложенному материалу, в целом правильно ответил на поставленные вопросы. При оформлении курсовая работа выполнен набор текста в формате Word, шрифт TimesNewRoman 14, листы формат А1. При защите курсовая работа студентом продемонстрирован хороший уровень развития профессиональных компетенций, теоретических знаний и наличие практических навыков
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	« удовлетворительно » – расчетно-пояснительная записка, в целом, удовлетворяет предъявляемым требованиям, но содержит некоторые неточности или погрешности в оформлении, студент имеет общие знания основного материала по теме курсовая работа, но без усвоения некоторых существенных положений, формулирует основные понятия с некоторой неточностью, затрудняется в ответах на поставленные вопросы. При оформлении работы выполнен набор текста в формате Word, шрифт TimesNewRoman 14, листы формат А1. При защите курсовая работа студентом продемонстрирован удовлетворительный уровень развития профессиональных компетенций, теоретических знаний и наличие практических навыков
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	« неудовлетворительно » – курсовая работа не выполнен в полном объеме или содержит существенные ошибки, студент не смог сделать доклад, поясняющий выполненного курсовая работа, допустил существенные ошибки в процессе ее изложения, не умеет выделить главное и сделать вывод, приводит ошибочные определения. При оформлении курсовая работа выполнен набор текста в формате Word, шрифт TimesNewRoman 14, листы формат А1. При защите курсовая работа студентом продемонстрирован неудовлетворительный уровень развития профессиональных компетенций, теоретических знаний и наличие практических навыков

Критерии оценивания итогового контроля (экзамен)

Таблица 11

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	<p>оценку «отлично» заслуживает студент, глубоко и прочно освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, излагающий его исчерпывающе, последовательно, системно и логически стройно. Студент не затрудняется с ответом при видоизменении задания; справляется с нестандартными задачами, вопросами и другими видами применения знаний; при изложении материала владеет терминологией и символикой изучаемой дисциплины; показывает разносторонние знания основной и дополнительной литературы; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.</p> <p><i>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – высокий</i></p>
Средний уровень «4» (хорошо)	<p>оценку «хорошо» 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, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой дисциплины; обладающий основными профессиональными компетенциями; в основном сформировал практические навыки.</p> <p><i>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – хороший (средний)</i></p>
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	<p>оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал только по обязательному минимуму содержания предмета, определенному программой дисциплины; знания основной литературы, рекомендованной программой, отрывочны и не системны. Студент допускает неточности в ответе, недостаточно правильные формулировки, нарушения последовательности в изложении материала, четкость и убедительность ответа выражена слабо, испытывает затруднения в выполнении типовых практических заданий, некоторые практические навыки не сформированы.</p> <p><i>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – достаточный</i></p>
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	<p>оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал; не показал правильного понимания существа экзаменационных вопросов; не знает значительной части основного материала; допускает принципиальные ошибки при выполнении типовых практических заданий. Студентом основная литература по проблемам курса не усвоена, практические навыки не сформированы.</p> <p><i>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – не сформированы</i></p>

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Основная литература

1. Рудобашта, С.П. Теплотехника. Изд. 2-е, доп. Допущено Минсельхозом РФ в качестве учебника для агрономических вузов (базовый учебник) [текст] М.: Пере. 2015. – 672 с.

2. Рудобашта, С.П. Электроразрядное экстрагирование : Учебное пособие / С. П. Рудобашта, В. Т. Казуб. – Москва : ООО Издательско-книготорговый центр «Колос-с», 2022. – 261 с. – ISBN 978-5-00129-260-9. – EDN GSKPEF.

3. Кузнецов А.В., Рудобашта С.П., Симоненко А.В. [текст] Основы теплотехники, топливо и смазочные материалы – М.: Колос, 2001. – 246 с.

7.2 Дополнительная литература

1. Круглов, Г.А. Теплотехника: учебное пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-1017-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/3900>

2. Логинов, В.С. Практикум по основам теплотехники : учебное пособие / В.С. Логинов, В.Е. Юхнов. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 128 с. — ISBN 978-5-8114-3377-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/112679>

3. Теплотехника. Практический курс: учебное пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова, М.В. Андреева. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 192 с. — ISBN 978-5-8114-2575-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/96253>

4. Рудобашта, С.П. Теплотехника. Задания для контрольной работы: практикум / С. П. Рудобашта, Е. Л. Бабичева, Ю. А. Канатников; Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева (Москва). — Электрон. текстовые дан. — Москва: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2018 — 114 с.: рис., табл. — Коллекция: Учебная и учебно-методическая литература. — Режим доступа :<http://elib.timacad.ru/dl/local/umo313.pdf>.

5. Осмонов, О.М. Общая энергетика: учебное пособие / О. М. Осмонов; Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева (Москва). — Электрон. текстовые дан. — Москва: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2015 — 98 с.: рис., табл. — Коллекция: Учебная и учебно-методическая литература. — Режим доступа :<http://elib.timacad.ru/dl/local/186.pdf>.

7.3 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

1. Методические указания к лабораторным работам:

- № 1 «Определение коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом цилиндрического слоя» (Рудобашта, С.П., Федотов, Е.И.);
- № 2 «Определение зависимости коэффициента теплопроводности воздуха от температуры методом нагретой нити» (Рудобашта, С.П., Федотов, Е.И.);
- № 3 «Определение коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на обогреваемом цилиндре» (Рудобашта, С.П., Федотов, Е.И.);

- № 4 «Определение коэффициента теплоотдачи методом регулярного режима» (Рудобашта, С.П., Федотов, Е.И.);
- № 5 «Определение коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости» (Рудобашта, С.П., Федотов, Е.И.);
- № 6 «Определение коэффициента излучения и интегральной степени черноты твёрдого тела» (Рудобашта, С.П., Федотов, Е.И.);
- № 7 «Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе» (Рудобашта, С.П., Федотов, Е.И.).

2. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы. Справочник в 4-х кн. Книга 1 / Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Изд – во МЭИ. 1999. - 528 с.

3. Каталог – справочник: Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета технологического и природоохранного оборудования: Справочник. Т. 1 -3. - Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2001. - 988 с.

4. Приборы разного типа для определения теплотехнических параметров: измерители температуры, давления, влажности воздуха.

5. Промышленный кожухотрубный теплообменник.

6. Плакаты:

- единицы измерения теплотехнических величин;
- с иллюстрацией закона теплопроводности и значениями коэффициента теплопроводности в разных средах;
- с изображением теплового пограничного слоя и записью уравнения теплоотдачи Ньютона;
- иллюстрирующий лучистый теплообмен и закон Стефана-Больцмана;
- иллюстрирующий теплообмен при кипении жидкости;
- иллюстрирующий теплообмен при конденсации пара.

7. Стенды:

– для определения коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом цилиндрического слоя;

– для определения зависимости коэффициента теплопроводности воздуха от температуры методом нагретой нити,

– для определения коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на горизонтальном обогреваемом цилиндре,

– для определения коэффициента теплоотдачи методом регулярного режима,

– для определения коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости,

– для определения коэффициента излучения и интегральной степени черноты твёрдого тела,

– для определения коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе,

– для испытания пластинчатого и кожухотрубного теплообменника,

8. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара (10 книг).

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

1. <https://portal.timacad.ru/> – учебно-методический портал (открытый доступ).
2. <http://kiev.goldenpages.ua/details/449147/286/> – промышленная тепло-техника (открытый доступ).
3. <http://www.twirpx.com/files/tek/periodic/teploenergetika/> – теплоэнергетика (открытый доступ).
4. <http://www.promen.energy-journals.ru/> – промышленная энергетика (открытый доступ).
5. <http://www.ntsn.ru/?yclid=3116444075139009561/> – новости тепло-снабжения (открытый доступ).
6. <http://rucont.ru> – электронно-библиотечная система (открытый доступ).
7. <http://www2.viniti.ru> – базы данных ВИНИТИ РАН (открытый доступ).
8. <http://ru.wikipedia.org/wiki> – теплопередача (открытый доступ).
9. <https://www.google.ru/>, <http://elementy.ru/trefil/>, <http://files.school-collection.edu.ru/>, <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ntes/>, <http://www.vedu.ru/expdic/> – теплообмен (открытый доступ).
10. <http://stringer46.narod.ru/Radiation.htm> – теплообмен излучением (открытый доступ).
11. <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/>, <http://slovari.yandex.ru/>, <http://tolkslovar.ru/m2376.html> – массообмен (открытый доступ).
12. <http://lab5.ru/glava-ix/> – основы процессов массообмена (открытый доступ).
13. <http://www.labh.ru/index/chast-2-massoobmennye-protsessy-i-apparaty/massoobmennye-protsessy-i-apparaty/>, <http://gendocs.ru/> – массообменные процессы и аппараты (открытый доступ).

Таблица 12

9. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование раздела учебной дисциплины	Наименование программы	Тип программы	Автор	Год разработки
1	Разделы 1-2	<i>V-TEST</i>	контролирующая	ФГБОУ ВПО МГАУ	2004
2	Разделы 1-2	MicrosoftOffice 2013	оформительная	Microsoft	2013

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

Сведения об обеспеченности специализированными аудиториями, кабинетами, лабораториями

Таблица 13

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы (№ учебного корпуса, № аудитории)	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы**
1	2
Лаборатории № 201 в корпусе по адресу: Лиственничная аллея, д. 6, 24 учебный корпус	<p>Лаборатория содержит:</p> <ol style="list-style-type: none">1) лабораторная установка для определения коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом цилиндрического слоя (Инв.№ 410134000001552);2) лабораторная установка для определения зависимости коэффициента теплопроводности воздуха от температуры методом нагретой нити (Инв.№ 210134000002081);3) лабораторная установка для определения коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на горизонтальном обогреваемом цилиндре (Инв.№ 210134000002082);4) лабораторная установка для определения коэффициента теплоотдачи методом регулярного режима (Инв.№ 410134000001548);5) лабораторная установка для определения коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости (Инв.№ 410134000001549);6) лабораторная установка для определения коэффициента излучения и интегральной степени черноты твёрдого тела (Инв.№ 410134000001550);7) лабораторная установка для определения коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе (Инв.№ 410134000001551);8) проектор NEC NP60 DLP 1024*768,300 для слайд-презентаций (Инв.№ 210134000002560);9) проекционный экран с электроприводом DigiElectra 240*240 NW (DSEM-1106) (Инв.№ 410138000002636);10) компьютер (Инв.№ 210134000001871)
Лаборатории № 214 в корпусе по адресу: Лиственничная аллея, д. 6, 24 учебный корпус	<p>Лаборатория содержит:</p> <ol style="list-style-type: none">1) пластинчатый теплообменник (Инв.№ 410134000001780);2) кожухотрубный теплообменник (Инв.№ 410134000001622);3) преобразователь температуры КТПТР-05 с бобышками угловыми (Инв.№ 410134000002554);4) экран Projecta SlimScreen 200*200 cv Matte White настенный (Инв.№ 568938);

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы (№ учебного корпуса, № аудитории)	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы**
1	2
	5) тепловая завеса КЕН-37В (Инв.№ 210134000002256); 6) комплект из интерактивной доски Penbord 77 (стойка, проектор и доска) (Инв.№ 210134000001798); 7) доска настенная магнитно-меловая ДН-32М (Инв.№ 632954); 8) компьютер (Инв.№ 210134000001864)
Лаборатория в общем зале в корпусе по адресу: ул. Тимирязевская, д.51. Корпус полностью занимает кафедра «Электро-снабжения и теплоэнергетики им. академика И.А. Будзко»	Лаборатория содержит: 1) теплосчетчик ВИС.Т ТС-200 со встроенным информационно-вычислительным (Инв.№ 410134000001624)
Лаборатории № 314 в корпусе по адресу: Лиственничная аллея, д. 6, 24 учебный корпус	Лаборатория содержит: 1) экран настенный ProjectaSlimScreen (Инв.№ 210134000002855); 2) проектор для слайд-презентаций (Инв.№); 3) доска настенная магнитно-меловая ДН-32М (Инв.№ 632955); 4) компьютер (Инв.№ 210134000001865)

Для самостоятельной работы студентов используются ресурсы Центральной научной библиотеки имени Н.И. Железнова РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 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 общежитии № 5 и № 4.

11. Методические рекомендации студентам по освоению дисциплины

Образовательный процесс по дисциплине «Тепломассообмен» 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, Zoom, Mentimeter) 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, 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 «Тепломассообмен», 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 расчетно-графической работы;
- перед выполнением практических занятий и лабораторных работ ознакомиться с методическими указаниями по их выполнению;
- для допуска к экзамену студенту необходимо выполнить и успешно сдать отчеты по всем практическим занятиям и лабораторным работам, а также выполнить весь объем самостоятельной индивидуальной работы, защитить выполненную КР, при подготовке к экзамену 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 и лабораторных работ должно быть максимально приближено к уровню, на котором ведется экспериментальная научно-исследовательская работа в конкретной предметной области.

При подготовке к практическому занятию и к лабораторной работе студент должен изучить рекомендованный к данной теме материал по учебнику и лабораторному 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 лабораторно-практических занятиях студент обязан обдуманно выполнять задания, анализировать полученные результаты.

Окончательно оформленные отчеты по практическим занятиям и лабораторным работам защищаются студентами в индивидуальном порядке в часы

консультаций преподавателя в день выполнения практического занятия, лабораторной работы 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 экзамену должен самостоятельно изучить материалы на учебно-методическом портале (открытый доступ) по ссылке <https://portal.timacad.ru/>.

Студент, пропустивший лабораторную работу и практические занятия, отрабатывает его в согласованное с преподавателем время.

Студент получает допуск к экзамену если выполнены и защищены лабораторные и практические работы, курсовая работа, а также имеется в наличии рукописный конспект лекций.

12. Методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине

Согласно учебному плану и графику учебного процесса преподавания дисциплины для организации условий освоения студентами компетенций используются следующие формы теоретического и практического обучения, соответствующие традиционной (объяснительно-иллюстративной), активные (проблемное обучение, коллективно-групповое обучение) и интерактивные технологии (дистанционная технология, электронное обучение, ТВ-технологии, сетевые технологии), в том числе с применением современных программных продуктов (MS Office: Word, Excel, PowerPoint), цифровых платформ (Webinar, Zoom, Mentimeter) и цифровых инструментов (Kahoot, Moodle, Fotor, SimInTech).

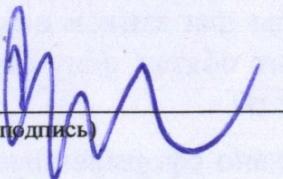
Для повышения уровня знаний по дисциплине у студентов, необходимо искать пути совершенствования методики преподавания: использование разнообразных форм, методов и приёмов активизации познавательной деятельности учащихся (в т.ч. активных и интерактивных); использование наглядного материала – таблиц, рисунков, схем, демонстрация опытов как метод обучения современных проблем теплоэнергетики, теплотехники и теплотехнологий; использование различных форм организации самостоятельной работы студентов: индивидуальная, групповая, коллективная; организация индивидуальной работы студентов с учётом уровня подготовки; применение систематического контроля различных видов в процессе обучения.

Научной основой для преподавания дисциплины является методология системного подхода к человеку. Важно стремиться эффективно организовать и оптимизировать самостоятельную работу студентов.

Программу разработал:

Рудобашта С.П., д.т.н., профессор

(подпись)



«16» июня 2025 г.

РЕЦЕНЗИЯ
на рабочую программу дисциплины Б1.О.40«Тепломассообмен»
ОПОП ВО по направлению 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
направленность «Инжиниринг теплоэнергетических систем»
(квалификация выпускника – бакалавр)

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 «Тепломассообмен» ОПОП ВО по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», направленность Инжиниринг теплоэнергетических систем (квалификация выпускника – бакалавриат) разработанной в ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», на кафедре «Электроснабжения и теплоэнергетики им. академика И.А. Будзко» в соответствии с Учебным планом по программе бакалавриата (разработчик – Рудобашта Станислав Павлович, профессор кафедры «Электроснабжения и теплоэнергетики им. академика И.А. Будзко», доктор технических наук).

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

1. Предъявленная рабочая программа дисциплины «Тепломассообмен» (далее по тексту Программа) соответствует требованиям ФГОС ВО по направлению 13.03.01 «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 базовой части учебного цикла – Б1.

3. Представленные в Программе **цели** дисциплины соответствуют требованиям ФГОС ВО направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

4. В соответствии с Программой за дисциплиной «Тепломассообмен» закреплены следующие **компетенции**: ОПК-3 (индикаторы компетенций ОПК-3.3) и ОПК-4 (индикаторы компетенций ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.6, ОПК-4.7). Дисциплина «Тепломассообмен» и представленная Программа способна реализовать их в заявленных требованиях. **Результаты обучения**, представленные в Программе в категориях знать, уметь, владеть соответствуют специфике и содержанию дисциплины и демонстрируют возможность получения заявленных результатов.

5. Общая трудоемкость дисциплины «Тепломассообмен» составляет 5 зачетных единицы (180 часов).

6. Информация о взаимосвязи изучаемых дисциплин и вопросам исключения дублирования в содержании дисциплин соответствует действительности. Дисциплина «Тепломассообмен» взаимосвязана с другими дисциплинами ОПОП ВО и Учебного плана по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и возможность дублирования в содержании отсутствует.

7. Представленная программа предполагает использование современных образовательных технологий, используемых при реализации различных видов учебной работы. Формы образовательных технологий соответствуют специфике дисциплины.

8. Программа дисциплины «Тепломассообмен» предполагает занятия в интерактивной форме.

9. Виды, содержание и трудоемкость самостоятельной работы студентов, представленные в Программе, соответствуют требованиям к подготовке выпускников, содержащимся во ФГОС ВО направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

10. Представленные и описанные в Программе формы *текущей* оценки знаний (выполнение лабораторных и практических работ, опрос, как в форме обсуждения отдельных вопросов, так и выступления и участие в дискуссиях, участие в тестировании, выполнение

курсовой работы и аудиторных заданиях – работа с технической литературой), соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

11. Форма промежуточного контроля знаний студентов, предусмотренная Программой, осуществляется в форме экзамена и защиты курсовой работы, что соответствует статусу дисциплины, как дисциплины обязательной части учебного цикла – Б1 ФГОС ВО направления **13.03.01** «Теплоэнергетика и теплотехника».

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

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины представлено: основной литературой – 3 источника (базовый учебник), дополнительной литературой – 5 наименований, методическими указаниями и рекомендациями – 8 источника, периодическими изданиями (научно-технические журналы) – 4 источника, Интернет-ресурсы – 13 источников и соответствует требованиям ФГОС ВО направления **13.03.01** «Теплоэнергетика и теплотехника».

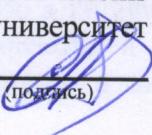
13. Материально-техническое обеспечение дисциплины соответствует специфике дисциплины «Тепломассообмен» и обеспечивает использование современных образовательных, в том числе интерактивных методов обучения.

14. Методические рекомендации студентам и методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине дают представление о специфике обучения по дисциплине «Тепломассообмен».

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенной рецензии можно сделать заключение, что характер, структура и содержание рабочей программы дисциплины «Тепломассообмен» ОПОП ВО по направлению **13.03.01** «Теплоэнергетика и теплотехника», направленность «Инжиниринг теплоэнергетических систем»(квалификация выпускника – бакалавр), разработанная профессором кафедры «Электроснабжения и теплоэнергетики им. академика И.А. Будзко», доктором технических наук Рудобаштой С.П. 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.