

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Парлюк Екатерина Петровна

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

Дата подписания: 17.07.2023 10:21:52

Уникальный программный ключ:

7823a3d3181287ca51a86a4c69d33e1779345d45



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

Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина
Кафедра теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий

УТВЕРЖДАЮ:
И.о. директора института механики и
энергетики имени В.П. Горячкина
И.Ю. Игнаткин
“ 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.36 «Тепломассообмен»

(индекс и наименование дисциплины по учебному плану)

для подготовки бакалавров:

ФГОС ВО

Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
Направленность: «Энергообеспечение предприятий»

Курс 3
Семестр 6

Форма обучения - очная
Год начала подготовки: 2021 г.

Москва 2021

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

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

«20» 09 2021 г.

Рецензент:

Андреев С.А.

к.т.н., доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

«21» 09 2021 г.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и учебного плана

Программа обсуждена на заседании кафедры «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий» протокол № 3 от «23» 09 2021 г.

Зав. кафедрой Кожевникова Наталья Георгиевна, к.т.н., доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

«23» 09 2021 г.

Согласовано:

Председатель учебно-методической комиссии института механики и энергетики имени В.П. Горячкина Чистова Я.С., к.п.н.

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

Протокол 53

«18» 10 2021 г.

Заведующий выпускающей кафедрой Кожевникова Н.Г. к.т.н., доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

«23» 09 2021 г.

Зав.отдела комплектования ЦНБ

(подпись)

Содержание

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	5
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ	5
3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
4.1 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ	6
ПО СЕМЕСТРАМ	6
4.2 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	10
4.3 ЛЕКЦИИ/ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ.....	14
5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	19
6. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	21
6.1. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ И НАВЫКОВ И (ИЛИ) ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	20
6.2. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ	33
7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	36
7.1 ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	36
7.2 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА	36
7.3 НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ АКТЫ.....	36
7.4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ	37
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	37
9. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ	38
10. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	38
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	40
11. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ	41
Виды и формы отработки пропущенных занятий.....	42
12. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.	42

Аннотация

рабочей программы учебной дисциплины Б1.О.36 «Тепломассообмен» для подготовки бакалавров по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», направленность «Энергообеспечение предприятий».

Цель освоения дисциплины: Целью освоения дисциплины «Тепломассообмен» является формирование у обучающихся компетенций, обеспечивающих способность к решению производственно-технологических и расчетно-проектных задач профессиональной деятельности, а именно: формулировать в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение, определять ожидаемые результаты; проектировать решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений; решать конкретные задачи проекта заявленного качества и за установленное время; использовать знания основных законов математических и естественных наук для решения стандартных задач в области эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин; использовать современные методы экспериментальных исследований и испытаний в профессиональной деятельности; под руководством специалиста более высокой квалификации участвовать в проведении экспериментальных исследованиях процессов и испытаниях в профессиональной деятельности.

Место дисциплины в учебном плане: дисциплина включена в обязательную часть учебного плана по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» цикл Б1.О, дисциплина осваивается в 6 семестре.

Требования к результатам освоения дисциплины: в результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции) : ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.

Краткое содержание дисциплины: основные понятия и определения 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 по-

нения массообмена, массообменные процессы, диффузия, закон диффузии Фика, дифференциальное уравнение диффузии, конвективный массообмен, дифференциальное уравнение конвективного массообмена, диффузионный 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: 6 зач. единиц (216 часов).

Промежуточный контроль: экзамен, КР.

1. Цель освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Тепломассообмен» является формирование у обучающихся компетенций, обеспечивающих способность к решению производственно-технологических и расчетно-проектных задач профессиональной деятельности, а именно: формулировать в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение, определять ожидаемые результаты; проектировать решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений; решать конкретные задачи проекта заявленного качества и за установленное время; использовать знания основных законов математических и естественных наук для решения стандартных задач в области эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин; использовать современные методы экспериментальных исследований и испытаний в профессиональной деятельности; под руководством специалиста более высокой квалификации участвовать в проведении экспериментальных исследований процессов и испытаниях в профессиональной деятельности.

2. Место дисциплины в учебном процессе

Дисциплина «Тепломассообмен» включена в обязательный перечень дисциплин учебного плана базовой части блока Б1.О.36. Дисциплина «Тепломассообмен» реализуется в соответствии с требованиями ФГОС ВО, Учебного плана по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» направленность «Энергообеспечение предприятий».

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Техническая термодинамика» являются математика (1, курс, 1, 2 и 3 семестры), химия (1 курс, 2 семестр), начертательная геометрия и инженерная графика (1 курс, 1 и 2 семестры) физика (2 курс, 3 и 4 семестры), теоретическая механика (2 курс, 3 семестр), техническая термодинамика (3 курс, 5 семестр).

Дисциплина «Тепломассообмен» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Тепломассообменное оборудование предприятий», «Источники и системы теплоснабжения предприятий», «Тепловые

двигатели и нагнетатели», Процессы и аппараты», «Применение теплоты в АПК».

Особенностью дисциплины является не только ее теоретическое, но и прикладное значение при подготовке бакалавров данного профиля. Знания, полученные в ходе освоения дисциплины «Тепломассообмен» необходимы для реализации производственно-технологического и расчетно-проектного видов деятельности, а именно формулирования в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение, определения ожидаемых результатов; проектирования решения конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений; решения конкретных задач проекта заявленного качества и за установленное время; использования знаний основных законов математических и естественных наук для решения стандартных задач в области выполнения теплотехнических расчетов и эффективной эксплуатации теплоэнергетического и тепло-технологического оборудования различного назначения, использования современных методов экспериментальных исследований и испытаний в профессиональной деятельности; под руководством специалиста более высокой квалификации участия в проведении экспериментальных исследованиях процессов и испытаниях в профессиональной деятельности.

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 по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Образовательные результаты освоения дисциплины обучающимся, представлены в таблице 1.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 6 зач. единиц (216 часов), их распределение по видам работ семестрам представлено в таблице 1.

Таблица 1

Требования к результатам освоения учебной дисциплины

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (или её части)	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	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, встречающиеся в процессах теплообмена	применять знания химических процессов, встречающиеся в процессах теплообмена, для анализа и расчета процессов тепло- и массообмена	методами применения знаний химических процессов для анализа и расчета процессов тепло-и массообмена
2	ОПК-4	Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ОПК-4.6 Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы	Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы	применять знания основных законов и способов переноса теплоты и массы для анализа и расчета процессов тепло- и массообмена	методами применения основных законов и знаниями способов переноса теплоты и массы для анализа и расчета процессов тепло-и массообмена
			ОПК-4.7 Применяет знания основ теплообмена в теплотехнических установках	процессы теплообмена в теплотехнических установках	применять знания основ теплообмена для анализа и расчета процессов теплообмена в теплотехнических установках	методами применения основных законов и знаниями способов переноса теплоты и массы для анализа и расчета процессов тепло-

						массообмена в тепло- технических установ- ках
--	--	--	--	--	--	---

Таблица 2

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость	
	час.	в т. ч. в семестре
		№ 6
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	216	216
Контактная работа	52,4	52,4
Аудиторная работа:	52,4	52,4
в том числе		
<i>лекции (Л)</i>	32	32
<i>лабораторные работы (ЛР)</i>	16	16
<i>курсовая работа (консультации, защиты)</i>	2	2
<i>консультации перед экзаменом</i>	2	2
<i>контактная работа на промежуточном контроле (КРА)</i>	0,4	0,4
Самостоятельная работа (СРС)	163,6	163,6
<i>курсовая работа (КР) (подготовка)</i>	36	36
<i>самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным работам)</i>	78,4	78,4
<i>Пр практика</i>	24,6	24,6
<i>Подготовка к экзамену</i>	24,6	24,6
Вид промежуточного контроля:	КР, экзамен	

4.2 Содержание дисциплины

Таблица 3

Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплин	Всего	Аудиторная работа				Внеаудиторная работа СР
		Л	ПЗ	ЛР	ПКР	
Раздел 1 «Теплообмен»	88	22		16		50
Тема 1. Основные понятия и определения теплообмена.	6	2				4

Наименование разделов и тем дисциплин	Всего	Аудиторная работа				Внеаудиторная работа СР
		Л	ПЗ	ЛР	ПКР	
Способы распространения теплоты в пространстве. Закон теплопроводности Фурье.						
Тема 2. Стационарная теплопроводность	8	2		2		4
Тема 3. Нестационарная теплопроводность	9	2		2		5
Тема 4. Анализ решений дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности	9	2		2		5
Тема 5. Конвективный теплообмен. Теплоотдача	9	2		2		5
Тема 6. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена и его анализ	7	2				5
Тема 7. Основы теории подобия	6	2				4
Тема 8. Применение теории подобия для описания теплоотдачи	9	2		2		5
Тема 9. Теплообмен излучением	9	2		2		5
Тема 10. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку	9	2		2		5
Тема 11. Теплопередача в теплообменных аппаратах	9	2		2		5
Раздел 2 «Массообмен»	36,4	10				26,4
Тема 12. Общие сведения о массообменных процессах.	6	2				4
Тема 13. Уравнение массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов.	6	2				4
Тема 14. Диффузия	8	2				6

Наименование разделов и тем дисциплин	Всего	Аудиторная работа				Внеаудиторная работа СР
		Л	ПЗ	ЛР	ПКР	
Тема 15. Конвективный массообмен. Массоотдача.	8	2				6
Тема 16. Массопередача в системах с твердой фазой	8,4	2				6,4
Пр. практика	24,6					24,6
Курсовая работа (КР)	40				2	38
Консультации перед экзаменом	2				2	
Контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	0,4				0,4	
Контроль (подготовка к экзамену)	24,6					24,6
Всего за 6 семестр	216	32		16	4,4	163,6
Итого по дисциплине	216	32		16	4,4	163,6

4.2 Содержание дисциплины

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 однослойной и многослойной стенках, теплопроводность в цилиндрической однослойной 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 внут-

решения 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 однослойную и многослойную стенки. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление теплопередачи. Теплопередача через цилиндрическую однослойную и многослойную стенки. Линейный коэффициент теплопередачи. Тепловая 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, мембранное 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 жидких 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 Шукарева. 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 занятия

Таблица 4

Содержание лекций и лабораторных занятий, контрольные мероприятия

№ п/п	№ раздела	№ и название лекции/лабораторных занятий	Код и содержание индикатора достижения компетенции (или ее части)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
1.	Раздел 1. «Теплообмен»				38

№ п/п	№ раздела	№ и название лекции/лабораторных занятий	Код и содержание индикатора достижения компетенции (или ее части)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
	Тема 1. Основные понятия и определения теплообмена. Способы распространения теплоты в пространстве. Закон теплопроводности Фурье.	Лекция № 1. Основные понятия и определения теплообмена	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
	Тема 2. Стационарная теплопроводность	Лекция № 2. Стационарная теплопроводность	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
		Лабораторная работа № 1. Определение коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом цилиндрического слоя.	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.	Защита лабораторных работ	2
	Тема 3. Нестационарная теплопроводность	Лекция № 3. Нестационарная теплопроводность	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
		Лабораторная работа № 2. Определение зависимости коэффициента теплопроводности воздуха от температуры методом нагретой нити.	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.	Защита лабораторных работ	2
	Тема 4. Анализ решений дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности	Лекция № 4. Анализ решений дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
	Тема 5. Конвективный теплообмен. Теплоотдача	Лекция № 5. Конвективный теплообмен. Теплоотдача	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
		Лабораторная работа № 3. Определение коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на обогреваемом цилиндре	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.	Защита лабораторных работ	2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекции/лабораторных занятий	Код и содержание индикатора достижения компетенции (или ее части)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
	Тема 6. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена и его анализ	Лекция № 6. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена и его анализ	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
		Лабораторная работа № 4. Определение коэффициента теплоотдачи методом регулярного режима	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
	Тема 7. Основы теории подобия	Лекция № 7. Основы теории подобия	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
	Тема 8. Применение теории подобия для описания теплоотдачи	Лекция № 8. Применение теории подобия для описания теплоотдачи	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.	Защита лабораторных работ	2
		Лабораторная работа № 5. Исследование теплоотдачи при вынужденном течении жидкости в трубе	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.	Защита лабораторных работ	2
		Лабораторная работа № 6. Определение коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.	Защита лабораторных работ	2
	Тема 9. Теплообмен излучением	Лекция № 9. Теплообмен излучением	ОПК-3.6 ОПК-3.7		2
		Лабораторная работа № 7. Определение коэффициента излучения и интегральной степени черноты твердого тела.	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.	Защита лабораторных работ	2
	Тема 10. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку	Лекция № 10. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
	Тема 11. Теплопередача в теплообменных аппаратах	Лекция № 11. Теплопередача в теплообменных аппаратах	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
		Лабораторная работа № 8. Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.	Тестирование, Защита лабораторных ра-	2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекции/лабораторных занятий	Код и содержание индикатора достижения компетенции (или ее части)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
		течения жидкости в трубе		бот	
2.	Раздел 2. «Массообмен»				10
	Тема 12. Общие сведения о массообменных процессах.	Лекция № 12. Основные понятия и определения массообмена. Способы переноса вещества в пространстве. Основные массообменные процессы. Фазовое концентрационное равновесие.	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
	Тема 13. Уравнение массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов.	Лекция № 13. Основное уравнение массопередачи. Коэффициент массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов. Движущая сила массообменных процессов.. Модифицированные уравнения массопередачи.	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
	Тема 14. Диффузия	Лекция № 14. Закон диффузии Фика. Коэффициент диффузии. Диффузия в газовых и жидких средах. Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии. Условия однозначности задач диффузии. Аналогия между диффузией и теплопроводностью.	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2
	Тема 15. Конвективный массообмен. Массоотдача.	Лекция № 15. Определение конвективного массообмена. Массоотдача. Диффузионный пограничный слой. Уравнение мас-	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекции/лабораторных занятий	Код и содержание индикатора достижения компетенции (или ее части)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
		соотдачи Щукарёва. Коэффициент массоотдачи.. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Критериальные уравнения.			
	Тема 16. Массопередача в системах с твердой фазой.	Лекция № 16. Классификация материалов, составляющих твердую фазу. Перенос распределяемого вещества в твердой фазе. Уравнение теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности.	ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.		2

Таблица 5

Перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины

№ 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.	1. Теплопроводность пористых и волокнистых материалов. 2. Современные теплоизоляционные материалы и предъявляемые к ним требования (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7).
2.	Тема 2. Стационарная теплопроводность	Практическое применение уравнений для расчета стационарной теплопроводности через плоскую и цилиндрическую стенки (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7).
3.	Тема 3. Нестационарная теплопроводность	Запись дифференциального уравнения теплопроводности в цилиндрической и сферической системах координат (одномерные задачи)
4.	Тема 4. Анализ решений дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности	Методы решения дифференциального уравнения теплопроводности (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7).
5.	Тема 5. Конвектив-	Изменение структуры теплового пограничного слоя по

№ п/п	№ раздела и темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
	ный теплообмен. Теплоотдача	длине поверхности теплообмена (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7).
6.	Тема 6. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена и его анализ	Сравнение дифференциальных уравнений теплопроводности и конвективного теплообмена (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7).
7.	Тема 7. Основы теории подобия	π – теорема Бэкингема (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7).
8.	Тема 8. Применение теории подобия для описания теплоотдачи.	1. Проблема масштабного перехода при перенесении результатов лабораторных исследований на промышленные объекты и вызывающие ее причины (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7).
9.	Тема 9. Теплообмен излучением	Излучение газов и паров (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7).
10.	Тема 10. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку	Критический диаметр теплоизоляции (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7).
11.	Тема 11. Теплопередача в теплообменных аппаратах	Конструкции регенеративных теплообменников. Особенности их теплового расчета (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.).
Раздел 2 Массообмен		
12.	Тема 12. Общие сведения о массообменных процессах.	Ионный обмен, мембранные методы разделения растворов (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7).
13.	Тема 13. Уравнение массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов.	Аналогия между теплопередачей и массопередачей (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.).
14.	Тема 14. Диффузия.	Аналогия между теплопроводностью и диффузией (ОПК-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7.).
15.	Тема 15. Конвективный массообмен. Массоотдача.	Аналогия между уравнениями теплоотдачи и массоотдачи (ОПК-3.3; 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-3.3; ОПК-4.6; ОПК-4.7).

5. Образовательные технологии

В основном применяется объяснительно-иллюстративная технология обучения, в случае вынужденного перехода на онлайн обучение применяются дистанционные образовательные технологии.

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.
2.	Тема 2. Стационарная теплопроводность	Л	Проблемная лекция. Объяснительно-иллюстративная технология.
3.	Тема 3. Нестационарная теплопроводность	Л	Проблемная лекция. Объяснительно-иллюстративная технология.
4.	Тема 4. Анализ решений дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
5.	Тема 5. Конвективный теплообмен. Теплоотдача	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация плакатов.
6.	Тема 6. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена и его анализ	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
7.	Тема 7. Основы теории подобия	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
8.	Тема 8. . Применение теории подобия для описания теплоотдачи	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
9.	Тема 9. Теплообмен излучением	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
10.	Тема 10. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
11.	Тема 11. Теплопередача в теплообменных аппаратах	Л	Проблемная лекция. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов.
		ЛР № 7	Текущий контроль, защита лабораторных работ.
12.	Тема 12. Общие сведения о массообменных процессах.	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
13.	Тема 13. Уравнение массопередачи. Материальный баланс массообменных процессов.	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
14.	Тема 14. Диффузия.	Л	Проблемная лекция. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
15.	Тема 15. Конвективный массообмен. Массоотдача.	Л	Проблемная лекция. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
16.	Тема 16. Массопередача в системах с твердой фазой	Л	Проблемная лекция. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов

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

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

Курсовая работа

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). Номер получаемого студентом задания соответствует его номеру в журнале преподавателя. Ниже представлены задания на курсовую работу.

Задания на курсовую работу

1. Рассчитать и спроектировать прямоточный кожухотрубный теплообменник для нагрева воздуха водой.

Исходные данные: расход воздуха $G_x = 3000$ кг/ч; температура воздуха $t_{x.н.} = 20^\circ\text{C}$; $t_{x.к.} = 80^\circ\text{C}$; температура воды $t_{г.н.} = 150^\circ\text{C}$; $t_{г.к.} = 100^\circ\text{C}$.

2. Рассчитать и спроектировать противоточный теплообменник типа «труба в трубе» для нагрева воды водой.

Исходные данные: расход холодной воды $G_x = 900$ кг/ч; температура холодной воды $t_{x.н.} = 20^\circ\text{C}$; $t_{x.к.} = 70^\circ\text{C}$; температура горячей воды $t_{г.н.} = 95^\circ\text{C}$; $t_{г.к.} = 50^\circ\text{C}$.

3. Рассчитать и спроектировать пластинчатый теплообменник для конденсации водяного пара водой.

Исходные данные: расход пара $G_r = 3000$ кг/ч; температура воды $t_{x.н.} = 20^\circ\text{C}$; $t_{x.к.} = 70^\circ\text{C}$; Давление пара $p_r = 7$ ати.

4. Рассчитать и спроектировать горизонтальный кожухотрубный теплообменник для нагрева воздуха водяным паром.

Исходные данные: расход воздуха $G_x = 5000$ кг/ч; температура воздуха $t_{x.н.} = 20^\circ\text{C}$; $t_{x.к.} = 100^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_r = 11$ ати.

5. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для охлаждения воздуха воздухом.

Исходные данные: расход охлаждаемого воздуха $G_r = 4000$ кг/ч; температура горячего воздуха $t_{г.н.} = 90^\circ\text{C}$; $t_{г.к.} = 35^\circ\text{C}$; температура холодного воздуха $t_{x.н.} = 20^\circ\text{C}$; $t_{x.к.} = 50^\circ\text{C}$.

6. Рассчитать и спроектировать пластинчатый теплообменник для нагрева воды водяным паром.

Исходные данные: расход воды $G_x=6000$ кг/ч; температура холодной воды $t_{x.н.}=70^\circ\text{C}$; $t_{x.к.}=95^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_r=9$ ати.

7. Рассчитать и спроектировать вертикальный кожухотрубный теплообменник для нагрева воды водяным паром.

Исходные данные: расход воды $G_x=8000$ кг/ч; температура воды $t_{x.н.}=70^\circ\text{C}$; $t_{x.к.}=95^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_r=12$ ати.

8. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для охлаждения воздуха водой.

Исходные данные: расход холодного воздуха $G_r=2000$ кг/ч; температура воздуха $t_{r.н.}=110^\circ\text{C}$; $t_{r.к.}=35^\circ\text{C}$; температура воды $t_{x.н.}=15^\circ\text{C}$; $t_{x.к.}=35^\circ\text{C}$.

9. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник (кипятильник) для выпаривания воды водяным паром.

Исходные данные: расход выпариваемой воды $G_x=4000$ кг/ч; начальная температура воды $t_{x.н.}=100^\circ\text{C}$; 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 $t_{r.н.}=130^\circ\text{C}$; $t_{r.к.}=40^\circ\text{C}$; температура холодной воды $t_{x.н.}=35^\circ\text{C}$; $t_{x.к.}=60^\circ\text{C}$.

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 греющего пара – атмосферное; температура воды $t_{x.н.}=25^\circ\text{C}$, $t_{x.к.}=40^\circ\text{C}$.

12. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для охлаждения воздуха водой.

Исходные данные: расход воздуха $G_r=2000$ кг/ч; температура воздуха $t_{r.н.}=130^\circ\text{C}$, $t_{r.к.}=60^\circ\text{C}$; температура воды $t_{x.н.}=15^\circ\text{C}$, $t_{x.к.}=70^\circ\text{C}$.

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; $t_{x.н.}=15^\circ\text{C}$, $t_{x.к.}=90^\circ\text{C}$.

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 $t_{x.н.}=10^\circ\text{C}$, $t_{x.к.}=65^\circ\text{C}$; 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 $t_{x.н.}=15^\circ\text{C}$, $t_{x.к.}=65^\circ\text{C}$; температура горячей воды $t_{r.н.}=140^\circ\text{C}$, $t_{r.к.}=90^\circ\text{C}$.

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 $t_{x.н.}=20^\circ\text{C}$, $t_{x.к.}=80^\circ\text{C}$.

17. Рассчитать и спроектировать вертикальный кожухотрубный теплообменник для нагрева воздуха водяным паром.

Исходные данные: расход воздуха $G_x = 2000$ кг/ч ; температура воздуха $t_{x,н} = -20^\circ\text{C}$, $t_{x,к} = 10^\circ\text{C}$; 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 $t_{r,н} = 150^\circ\text{C}$, $t_{r,к} = 40^\circ\text{C}$; температура воды $t_{x,н} = 150^\circ\text{C}$, $t_{x,к} = 70^\circ\text{C}$.

20. Рассчитать и спроектировать горизонтальный кожухотрубный теплообменник для нагрева воздуха водяным паром.

Исходные данные: расход воздуха $G_x = 2500$ кг/ч; температура воздуха $t_{x,н} = -10^\circ\text{C}$, $t_{x,к} = 50^\circ\text{C}$; 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 $t_{x,н} = 0^\circ\text{C}$, $t_{x,к} = -10^\circ\text{C}$; давление пара $p_r = 11$ ати.

22. Рассчитать и спроектировать пластинчатый конденсатор водяного пара водой.

Исходные данные: расход пара $G_r = 2000$ кг/ч; давление пара $p_r = 2$ ати; температура воды $t_{x,н} = 20^\circ\text{C}$, $t_{x,к} = 50^\circ\text{C}$.

23. Рассчитать и спроектировать пластинчатый теплообменник для нагрева воды паром.

Исходные данные: расход воды $G_x = 4000$ кг/ч; температура воды $t_{x,н} = 35^\circ\text{C}$, $t_{x,к} = 65^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_r = 8$ 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 $p_r = 9$ ати.

25. Рассчитать и спроектировать пластинчатый теплообменник для нагрева воды водяным паром.

Исходные данные: расход воды $G_x = 4000$ кг/ч; температура воды $t_{x,н} = 50^\circ\text{C}$, $t_{x,к} = 90^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_r = 6$ 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 $t_{x,н} = 30^\circ\text{C}$, $t_{x,к} = 80^\circ\text{C}$; давление греющего пара $p_r = 8$ 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 $t_{г.н.}=90^\circ\text{C}$, $t_{г.к.}=50^\circ\text{C}$; температура холодной воды $t_{х.н.}=15^\circ\text{C}$, $t_{х.к.}=40^\circ\text{C}$.

28. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для охлаждения воды водой.

Исходные данные: расход горячей воды $G_g=7000$ кг/ч; температура горячей воды $t_{г.н.}=130^\circ\text{C}$, $t_{г.к.}=80^\circ\text{C}$; температура холодной воды $t_{х.н.}=30^\circ\text{C}$, $t_{х.к.}=75^\circ\text{C}$.

29. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для нагрева воды водой.

Исходные данные: расход холодной воды $G_x=4000$ кг/ч; температура холодной воды $t_{х.н.}=30^\circ\text{C}$, $t_{х.к.}=60^\circ\text{C}$; температура горячей воды $t_{г.н.}=150^\circ\text{C}$, $t_{г.к.}=70^\circ\text{C}$.

30. Рассчитать и спроектировать кожухотрубный теплообменник для нагрева воды водой.

Исходные данные: расход холодной воды $G_x=6000$ кг/ч; температура холодной воды $t_{х.н.}=40^\circ\text{C}$, $t_{х.к.}=80^\circ\text{C}$; температура горячей воды $t_{г.н.}=120^\circ\text{C}$, $t_{г.к.}=100^\circ\text{C}$.

Лабораторные работы (ЛР) направлены на практическое закрепление теоретического материала дисциплины «Тепломассообмен». В результате студент должен знать основные положения теплообмена, составляющие основу расчета теплообменных аппаратов; устройство и принцип действия теплообменных аппаратов; уметь применять средства измерения основных теплофизических параметров; использовать нормативные и справочные документы; применять полученные знания и навыки при изучении специальных дисциплин; владеть методами расчета гтнплотехгических процессов и подбора теплотехнического оборудования; навыками выполнения теплотехнических исследований, обработки и анализа их результатов. В курсе «Тепломассообмен» предполагается выполнение 6 лабораторных работ.

Допуск к выполнению ЛР происходит при условии освоения материала и наличия у студента заполненной таблицы опытных данных в журнале лабораторных работ. Отчет по лабораторной работе представляется с полностью обработанными результатами измерений, графическим материалом, выводами. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Контрольные вопросы при защите 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 $\Phi = f(t_n)$?
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?
3. Что такое "определяющая температура" и "определяющий" размер?
4. Каков физический смысл критерия Грасгофа?
5. Какая температура и какой геометрический размер берутся в качестве определяющих при расчете естественной конвекции?
6. Поясните схему экспериментальной установки. Какие величины измеряются в ходе эксперимента и с помощью каких приборов?
7. Какие величины рассчитываются по экспериментальным данным в данной лабораторной работе и с помощью каких формул?
8. Напишите уравнение теплоотдачи и поясните его.
9. 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 определяется 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 подсчитываемые 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 оребряют 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?

Текущее тестирование

Текущее тестирование необходимо для оценки текущей успеваемости и усвояемости изучаемого студентами материала. Рабочая программа предусматривает проведение двух тестирований: первое тестирование выполняется по разделу 1 «Теплообмен», второе тестирование - по разделу 2 «Массообмен». Первое тестирование проводится письменно на 12-й неделе учебного семестра, второе тестирование - на 15-й неделе учебного семестра.

Тест 1 для текущего контроля успеваемости

№ задания	Задание	Варианты ответов или ответ
1.	Конвекция возможна:	1. В жидкости и газе 2. В газе 3. В твердом теле 4. В вакууме
2.	Молекулярный процесс передачи теплоты называется	1. Теплопередачей 2. Теплопроводностью 3. Конвекцией 4. Конвективным теплообменом
3.	Чему равна плотность теплового потока, если коэффициент теплоотдачи от среды к стенке $35 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, температура среды 21°C , температура стенки 20°C ?	
4.	Начальная температура горячего теплоносителя 200°C , конечная температура 100°C , начальная температура холодного теплоносителя 10°C , конечная температура 90°C . Определить среднюю логарифмическую температуру (в $^\circ\text{C}$) в случае противотока.	
5.	Теплообменный аппарат, в котором теплота от горячего к холодному теплоносителю передается через разделительную стенку, называется:	1. Регенеративным 2. Смесительным 3. Рекуперативным.
6.	Чему равна теплопроводность стенки толщиной 20 мм, если температура на внутренней поверхности стенки 30°C , на внеш-	

	ней 29°C , тепловые потери $50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$	
7.	Чему равна плотность теплового потока (в $\text{Вт}/\text{м}^2$) в случае теплопередачи через плоскую стенку (коэффициент теплоотдачи от горячей среды с температурой 50°C к стенке $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, коэффициент теплоотдачи от стенки к холодной среде с температурой 0°C $20 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, толщина стенки 20 см , λ – коэффициент теплопроводности стенки $0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$)?	
8.	Чему равна плотность теплового потока через плоскую стенку в случае теплопередачи, если термическое сопротивление теплопередаче $0,1 \text{ (мК)}/\text{Вт}$, температура горячей среды 20°C , температура холодной среды 10°C .	
9.	Наружный диаметр трубопровода равен $d = 20 \text{ мм}$. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубопровода к обтекающей ее среде равен $\alpha = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, коэффициент теплопроводности одного теплоизолирующего материала $\lambda_1 = 0,06 \text{ Вт}/(\text{м К})$, коэффициент теплопроводности другого теплоизолирующего материала $\lambda_2 = 0,14 \text{ Вт}/(\text{м К})$. Дать заключение о пригодности теплоизолирующих материалов для теплоизоляции трубопровода:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пригоден первый материал, 2. Пригоден второй материал, 3. Пригодны оба материала.
10.	Линейный коэффициент теплопередачи теплотрассы равен $0,2 \text{ Вт}/(\text{м К})$, температура воды, протекающей по трубопроводу, равна $t_1 = 90^{\circ}\text{C}$, температура наружной среды $t_2 = -10^{\circ}\text{C}$, длина теплотрассы $l = 1 \text{ км}$. Найти теплотеперьтепелотери теплотрассы в окружающую среду Φ (Вт) на этом ее	

	участке.	
--	----------	--

ТЕСТ 2 для текущего контроля успеваемости

№ задания	Задание	Варианты ответов или ответ
1.	Процесс переноса массы одновременно конвекцией и диффузией называется:	1. Диффузией 2. Массоотдачей 1. Конвекцией 2. Конвективным массообменом
2.	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.
3.	Конвекция возможна:	1. В жидкости и газе 2. В газе 3. В твердом теле 4. В жидкости, газе, твердом теле и в вакууме
4.	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 со-

		стояние
5.	Фаза в массопередаче – это:	<ol style="list-style-type: none"> 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 жидкая среда в аппарате.
6.	Основное уравнение массопередачи описывает:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Массопередачу при прямом 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.
7.	Уравнение массоотдачи описывает:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Массообмен между двумя фазами через поверхность раздела фаз 2. Массообмен между поверхностью раздела фаз и ядром потока фазы 3. 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 разде-

		ла фаз меньше, чем в ядре потока
8.	Модифицированное уравнение массопередачи применяют:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Когда поверхность фазового контакта геометрически неопределима 2. При противотоке 3. При прямотоке 4. При нестационарной массопередаче
9.	Средняя движущая сила процесса при массопередаче в массообменном аппарате в общем случае вычисляется:	<ol style="list-style-type: none"> 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
10.	Рабочая линия процесса для массообменного аппарата линейна:	<ol style="list-style-type: none"> 1. При любом способе выражения состава фаз 2. При определенном способе выбора состава фаз 3. При прямотоке 4. При противотоке

Перечень вопросов к экзамену по дисциплине

Раздел 1 Теплообмен

1. Основные понятия и определения теплообмена.
2. Способы распространения теплоты в пространстве.
3. Закон теплопроводности Фурье. Коэффициент теплопроводности. Теплопроводность в газах, жидкостях, твердых телах.
4. Стационарная теплопроводность через плоскую стенку: однослойную и многослойную. Термическое сопротивление стенки.
5. Стационарная теплопроводность через цилиндрическую, стенку: однослойную и многослойную. Линейная плотность теплового потока. Термическое сопротивление стенки.
6. Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности.
7. Условия однозначности задач нестационарной теплопроводности. Краевые условия. Граничные условия 1-го, 2-го, 3-го и 4-го рода.

8. Общий вид решений задач нестационарной теплопроводности для пластины, цилиндра и шара при граничном условии 3-го рода.

9. Конвективный теплообмен. Уравнение теплоотдачи Ньютона. Коэффициент теплоотдачи и его физический смысл. Термическое сопротивление теплоотдачи.

10. Понятие о динамическом, тепловом и диффузионном пограничных слоях.

11. Дифференциальное уравнение конвективного теплообмена (уравнение энергии).

12. Основы теории подобия. Подобие: геометрическое, временное, физических величин, полей физических величин, условий однозначности.

13. Числа (критерии) подобия. Первая теории подобия. Критерии подобия конвективного теплообмена.

14. Числа (критерии) подобия. 3-я теорема подобия. Критериальные уравнения.

15. Метод приведения для получения критериев подобия.

16. Теплоотдача при естественной и вынужденной конвекции.

17. Теплоотдача при кипении.

18. Теплоотдача при конденсации.

19. Тепловое излучение. Основные понятия и определения. Степень черноты. Коэффициенты поглощения, отражения и пропускания.

20. Законы лучистого теплообмена.

21. Теплопередача через плоскую стенку: однослойную и многослойную. Коэффициент теплопередачи. Общее термическое сопротивление.

22. Теплопередача через цилиндрическую стенку: однослойную и многослойную. Линейный коэффициент теплопередачи. Линейное термическое сопротивление теплопередачи цилиндрической стенки.

23. Теплообмен излучением: результирующий тепловой поток между телами в пространстве.

24. Прямоточная и противоточная схемы движения теплоносителей через рекуперативный теплообменник. Преимущества и недостатки противотока и прямотока в рекуперативном теплообменном аппарате.

25. Критический диаметр теплоизоляции.

26. Типы теплообменных аппаратов.

27. Вывод средней разности температур для прямоточного рекуперативного теплообменного аппарата.

28. Средняя разность температур рекуперативного теплообменного аппарата при прямотоке, противотоке и перекрестном токе.

29. Интенсификация теплообмена в теплообменных аппаратах.

Раздел 2 Массообмен

30. Основные понятия и определения массообмена. Способы переноса распределяемого вещества в пространстве.

31. Характеристика основных массообменных процессов.

32. Массопередача. Фазовое равновесие в процессах массопередачи.

33. Основное уравнение массообмена.
34. Движущая сила массообменных процессов и ее представление в фазовых «х - у» координатах.
35. Материальный баланс массообменных процессов.
36. Средняя движущая сила массообменных процессов для случаев нелинейной и равновесной зависимости..
37. Модифицированные уравнения массообмена.
38. Аналогия между теплопередачей и массообменом.
39. Уравнение диффузии Фика. Коэффициент диффузии. Диффузия в газах, жидкостях и твердых телах.
40. Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии.
41. Условия однозначности к дифференциальному уравнению молекулярной диффузии. Краевые условия. Граничные условия 1-го, 2-го, 3-го и 4-го рода.
42. Аналогия между диффузией и теплопроводностью.
43. Конвективный массообмен. Уравнение массообмена Шукарева. Коэффициент массообмена.
44. Дифференциальное уравнение конвективного массообмена.
45. Числа (критерии) подобия конвективного массообмена. Общий вид критерийных уравнений конвективного массообмена при массообмене.
46. Анализ дифференциального уравнения конвективного массообмена.
47. Аналогия между теплоотдачей и массообменом.
48. Массообмен в системах с твердой фазой. Общая схема массообмена.
49. Уравнение теплопроводности.
50. Аналогия между теплообменом и теплопередачей.

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

Критерии оценки выполнения и защиты лабораторных работ:

К защите лабораторной работы представляется отчет с полностью обработанными результатами измерений, графическим материалом, выводами. Отчет не может быть принят и подлежит доработке в случае: отсутствия необходимых расчетных формул, обозначений и т.п.; отсутствия необходимого графического материала; некорректной обработки результатов измерений.

Защита отчета по лабораторной работе проходит в форме представления студентом отчета по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. В случае «незачета» лабораторной работы студент после дополнительной подготовки повторно представляет отчет по выполненной лабораторной работе к защите.

Таблица 7

Критерии оценивания защиты лабораторных работ

Оценка	Критерии оценивания
Зачтено	Отчет составлен правильно, в соответствии с методическими

	указаниями к лабораторной работе и содержит все указанные в них части (краткое изложение исследования, схему экспериментальной установки, результаты измерений и их обработку, ответы на поставленные вопросы), студент дает правильные ответы на дополнительные вопросы преподавателя, если таковые последуют.
Не зачтено	Отчет составлен не корректно и не соответствует требованиям, изложенным в методических указаниях к лабораторной работе, студент не дает правильные ответы на дополнительные вопросы преподавателя, если таковые последуют.

Критерии оценки выполнения курсовой работы (КР)

Выполненная курсовая работа после подписи ее исполнителем (студентом) и руководителем проекта защищается студентом перед кафедральной комиссией, состоящей из трех преподавателей, один из которых является руководителем курсовой работы. При защите курсовой работы студент делает краткое (5-7 мин.) сообщение по ее теме и отвечает на предлагаемые членами комиссии вопросы. При выставлении оценки за курсовую работу члены комиссии оценивают качество выполнения работы, качество сделанного доклада, ответы на поставленные вопросы.

Оценка качества курсовой работы осуществляется по четырехбалльной системе:

«**отлично**», если 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;

оценка «**хорошо**», если в расчетно-пояснительной записке имеются отдельные небольшие неточности, если студент представил грамотное изложение содержания работы по существу, дал вывод по изложенному материалу, в целом правильно ответил на поставленные вопросы;

оценка «**удовлетворительно**», если расчетно-пояснительная записка, в целом, удовлетворяет предъявляемым требованиям, но содержит некоторые неточности или погрешности в оформлении, студент имеет общие знания основного материала по теме курсовой работы, но без усвоения некоторых существенных положений, формулирует основные понятия с некоторой неточностью, затрудняется в ответах на поставленные вопросы;

оценка «**неудовлетворительно**», если курсовая работа не выполнена в полном объеме или содержит существенные ошибки, студент не смог сделать доклад, поясняющий выполненную работу, допустил существенные ошибки в процессе ее изложения, не умеет выделить главное и сделать вывод, приводит ошибочные определения.

Необходимым условием допуска студента к экзамену является сдача им курсовой работы.

Критерии оценивания тестирования.

Оценка текущей работы студентов оценивается с помощью балльной системы контроля и оценки успеваемости студентов, которые осуществляется в форме тестирования.

Тест содержит 10 заданий. Правильный ответ на задание дает 1 балл, неправильный – ноль баллов. Максимальное количество баллов в тесте 10.

Оценка успеваемости студентов по результатам выполнения одного теста

Количество набранных баллов	Оценка
4 и менее	неудовлетворительно
5 – 6	удовлетворительно
7 – 8	хорошо
9 – 10	отлично

Критерии оценивания результатов обучения

Таблица 8

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку « отлично » заслуживает студент, который излагает содержание вопроса логически верно, аргументировано, умеет делать выводы; правильно формулирует основные законы тепло- и массообмена; знает и применяет основные формулы и расчетные зависимости; владеет методами расчета процессов тепло-и массообмена. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – высокий.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку « хорошо » заслуживает студент, который излагает содержание вопроса логически верно и по существу, умеет делать выводы и приводит примеры из практики, но допускает некоторые неточности и незначительные ошибки или описки, что в целом не вызывает сомнений в освоении дисциплины. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – хороший (средний).
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку « удовлетворительно » заслуживает студент, который не в полной мере владеет навыками логично и аргументировано излагать содержание материала, имеет общие знания основного содержания дисциплины без освоения некоторых существенных положений, допускает неточности и затрудняется в теоретических выводах, однако умеет применять знания и умения в практических работах, владеет навыками работы со справочной и учебной литературой, умеет пользоваться нормативными документами. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – достаточный.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку « неудовлетворительно » заслуживает студент, который не освоил значительную часть содержания дисциплины; допускает существенные ошибки в изложении материала; не в полной мере владеет методами выполнения расчетов процессов тепло- и массообмена; не умеет выделить главное и сделать выводы. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, не сформированы.

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 агроинженерных вузов (базовый учебник) [текст] М.: Перо. 2015. – 672 с.
2. 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, Станислав Павлович. 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, Орозмамат Мамасалиевич. 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 Нормативные правовые акты

1. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ".

7.4 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

1. Методические указания к лабораторной работе «Определение коэффициента теплопроводности твердых тел методом цилиндрического слоя».
2. Методические указания к лабораторной работе «Определение зависимости коэффициента теплопроводности воздуха от температуры методом нагретой нити» (Рудобашта С.П., Бабичева Е.Л., Канатников Ю.А.).
3. Методические указания к лабораторной работе «Определение коэффициента теплоотдачи методом регулярного режима» (Рудобашта С.П., Бабичева Е.Л., Канатников Ю.А.).
4. Методические указания к лабораторной работе «Определение коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на обогреваемом цилиндре» (Рудобашта С.П., Бабичева Е.Л., Канатников Ю.А.).
5. Методические указания к лабораторной работе «Исследование теплоотдачи при вынужденном течении жидкости в трубе» (Рудобашта С.П., Бабичева Е.Л., Канатников Ю.А.).
6. Методические указания к лабораторной работе «Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе» (Рудобашта С.П., Бабичева Е.Л., Канатников Ю.А.).
7. Методические указания к лабораторной работе «Исследование теплоотдачи при кипении жидкости в большом объеме» (Рудобашта С.П., Бабичева Е.Л., Канатников Ю.А.).
8. Методические указания к лабораторной работе «Определение коэффициента излучения и интегральной черноты твердого тела – вольфрамовой проволоки» (Рудобашта С.П., Бабичева Е.Л., Канатников Ю.А.).

Научно-технические журналы

1. Промышленная теплотехника. Электронный ресурс <http://kiev.goldenpages.ua/details/449147/286/> – открытый доступ.
2. Теплоэнергетика. Электронный ресурс – открытый доступ <http://www.twirpx.com/files/tek/periodic/teploenergetika/>
3. Промышленная энергетика. Электронный ресурс: <http://www.promen.energy-journals.ru/> – открытый доступ .
4. Новости теплоснабжения. Электронный ресурс <http://www.ntsн.ru/?yclid=3116444075139009561>– открытый доступ.

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

Раздел 1. Теплообмен

1. Теплопередача: <http://ru.wikipedia.org/wiki> - открытый доступ
2. Теплообмен: <https://www.google.ru/> - открытый доступ
3. Теплообмен: <http://elementy.ru/trefil/> - открытый доступ
4. Теплообмен: <http://files.school-collection.edu.ru/> - открытый доступ
5. Теплообмен: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ntes/> - открытый доступ
6. Теплообмен: <http://www.vedu.ru/expdic/> - открытый доступ

7. Теплообмен излучением: <http://stringer46.narod.ru/Radiation.htm> - открытый доступ.

Раздел 2. Массообмен

1. Массообмен – ХиМиК. ru: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/> - открытый доступ
2. Массообмен –БСЭ: <http://slovari.yandex.ru/> - открытый доступ
3. Основы процессов массообмена: <http://lab5.ru/glava-ix/> - открытый доступ
4. Массообмен: <http://tolkslovar.ru/m2376.html> - открытый доступ
3. Массообменные процессы и аппараты: <http://www.labh.ru/index/chast-2-massobmennye-protsessy-i-apparaty/massobmennye-protsessy-i-apparaty/> - открытый доступ
4. Массообменные процессы и аппараты: <http://gendocs.ru/> - открытый доступ

9. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

1. <http://library.timacad.ru> Электронно-библиотечная система ЦНБ имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.
2. <http://rucont.ru> Электронно-библиотечная система «Национальный цифровой ресурс РУКОНТ».
3. <http://www.techgidravlika.ru> Информационно-справочная система.

Таблица 9

Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование раздела учебной дисциплины	Наименование программы	Тип программы	Автор	Год разработки
1	Разделы 1-2	Microsoft Office 2013	оформительная	Microsoft	2013
2.					

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

Таблица 10

Сведения об обеспеченности специализированными аудиториями, кабинетами, лабораториями

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы (№ учебного корпуса, № аудитории)	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы**
1	2

<p>Лаборатория по теоретическим основам теплотехники (технической термодинамике и теплообмену) № 6 в корпусе по адресу: ул. Тимирязевская, д.51. Корпус полностью занимает кафедра «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий», читающая дисциплину «теплообмен».</p>	<p>1 Доска школьная (Инв.№ 21013600004868) 2 Экран настенный Projecta SlimScreen (Инв.№ 21013400002855) Лабораторные стенды: 1.Стенд для определения коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом цилиндрического слоя, 2. Стенд для определения зависимости коэффициента теплопроводности воздуха от температуры методом нагретой нити, 3. Стенд для определения коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на горизонтальном обогреваемом цилиндре, 4. Стенд для определения коэффициента теплоотдачи методом регулярного режима, 5. Стенд для определения коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости, 6. Стенд для определения коэффициента излучения и интегральной степени черноты твёрдого тела, 7. Стенд для определения коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе.</p>
<p>Лаборатория № 1 в корпусе по адресу: ул. Тимирязевская, д.51. Корпус полностью занимает кафедра «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий», читающая дисциплину «теплообмен».</p>	<p>Лаборатория содержит две установки для исследования теплообмена: 1)пластинчатый теплообменник, 2) кожухотрубный теплообменник. Имеется экран для слайд-презентаций.</p>
<p>Лаборатория № 5 в корпусе по адресу: ул. Тимирязевская, д.51. Корпус полностью занимает кафедра «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий», читающая дисциплину «теплообмен».</p>	<p>Лаборатория оснащена стендами для показа приборов для измерения теплотехнических величин.</p>
<p>Лаборатория в общем зале в корпусе по адресу: ул. Тимирязевская, д.51. Корпус полностью занимает кафедра «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий», читающая дисциплину «теплообмен».</p>	<p>Лаборатория содержит промышленный кожухотрубный теплообменник, предназначенный для демонстрации его конструкции.</p>
<p>Аудитория № 16 для проведения лекционных занятий по дисциплине «теплообмен», расположенная в корпусе по адресу: ул. Тимирязевская, д.51. Корпус полностью занимает кафедра «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий», читающая дисциплину «теплообмен».</p>	<p>1 Доска аудиторная 3-х элементная (Инв.№ 21013600003573) 2 Экран Projecta SlimScreen 200*200 cv Matte White S настенный (Инв.№ 568938) 3 Комплект из интерактивной доски Penbord 77 (стойка, проектор и доска) (Инв.№ 21013400001798) Компьютер "Абакус" (Инв.№ 41013400001484)</p>
<p>Кабинет № 15 для самостоятельных занятий по теплотехническим дисциплинам, в том числе по теплообмену, в корпусе по адресу: ул. Тимирязевская, д.51. Корпус полностью занимает кафедра «Теплотех-</p>	<p>Кабинет имеет письменные столы и стулья.</p>

ника, гидравлика и энергообеспечение предприятий», читающая дисциплину «техническая термодинамика»..	
Центральная научная библиотека имени Н.И. Железнова - читальные залы библиотеки	Библиотека имеет научно-техническую литературу по технической термодинамике

Для самостоятельной работы студентов также предусмотрены комнаты самоподготовки студентов в общежитиях.

Плакаты по дисциплине «Тепломассообмен»

1. Плакат «Единицы измерения теплотехнических величин».
2. Плакат с иллюстрацией закона теплопроводности и значениями коэффициента теплопроводности в разных средах.
3. Плакат с изображением теплового пограничного слоя и записью уравнения теплоотдачи Ньютона.
4. Плакат, иллюстрирующий лучистый теплообмен и закон Стефана-Больцмана.
5. Плакат, иллюстрирующий теплообмен при кипении жидкости.
6. Плакат, иллюстрирующий теплообмен при конденсации пара.

Перечень дидактических раздаточных материалов

1. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара (10 книг).
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. Учебники, учебные пособия, методические указания по теплотехнике, имеющиеся на кафедре.

Специализированное оборудование

На кафедре имеется следующий вид специализированного оборудования по дисциплине «Тепломассообмен»:

1. Приборы разного типа для определения теплотехнических параметров: измерители температуры, давления, влажности воздуха;
2. Стенд для определения коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом цилиндрического слоя,
3. Стенд для определения зависимости коэффициента теплопроводности воздуха от температуры методом нагретой нити,
4. Стенд для определения коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на горизонтальном обогреваемом цилиндре,
5. Стенд для определения коэффициента теплоотдачи методом регулярного режима,
6. Стенд для определения коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости,

7. Стенд для определения коэффициента излучения и интегральной степени черноты твёрдого тела,
8. Стенд для определения коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе,
9. Стенд для испытания пластинчатого теплообменника,
10. Стенд для испытания кожухотрубного теплообменника,
11. Промышленный кожухотрубный теплообменник.

11. Методические рекомендации обучающимся по освоению дисциплины

Студентам необходимо:

- внимательно ознакомиться с содержанием тематического плана дисциплины, который составляется преподавателем, ответственным за дисциплину (лектором) и вывешивается на кафедре, приводимом в нём списке рекомендуемой литературы, приобрести в библиотеке университета требующиеся учебники и учебные пособия;
- получить консультацию у преподавателей кафедры, ведущих дисциплину «Тепломассообмен», по всем возникающим учебно-методическим вопросам;
- используя методические пособия, строго по темам дисциплины приступить к изучению рекомендуемой литературы;
- прорабатывать каждую тему сразу после её прочтения на лекции;
- курсовую работу выполнять сразу после получения задания на её выполнение (выполнять строго свой вариант задания);
- выполненная курсовая работа после подписи ее исполнителем (студентом) и руководителем проекта защищается студентом перед кафедральной комиссией, состоящей из трех преподавателей, один из которых является руководителем проекта;
- при защите курсовой работы студент делает краткое (5-7 мин.) сообщение по ее теме и отвечает на предлагаемые членами комиссии вопросы;
- в период зачётной сессии пройти тестирование, защитить выполненные курсовые работы;
- при подготовке к экзамену руководствоваться вопросами, приведенными в разделе 6.1 рабочей программы.

Методические указания для проведения лабораторных работ

Лабораторные работы имеют целью обучить студентов методам экспериментальных исследований, привить навыки анализа и обработки полученных данных при работе с лабораторным оборудованием, вычислительной техники. На лабораторных работах закрепляется теоретический материал, полученный при изучении основных вопросов данной дисциплины. В начале лабораторной работы преподаватель должен определить его цель, указать взаимосвязь работы с разделами основного содержания дисциплины, проверить готовность студентов для выполнения данной работы. При подготовке к лабораторной работе студент должен изучить рекомендованный к данной те-

ме материал по учебнику и лабораторному практикуму, подготовить отчет, который должен содержать наименование работы, цель работы, схемы рассматриваемой экспериментальной установки с указанием контрольно-измерительных приборов, расчетных формул, таблицы для записи опытных данных.

При достаточной технической оснащенности учебной лаборатории кафедры студенты выполняют лабораторную работу, предварительно разбившись по «бригадам», включающим в себя по 4 – 5 студентов. Если же нет такой технической возможности, то лабораторная работа выполняется сразу всей подгруппой или $\frac{1}{2}$ подгруппы. При этом преподаватель распределяет между студентами обязанности по выполнению лабораторной работы, стараясь задействовать в работе как можно больше студентов. Перед проведением лабораторной работы преподаватель или ассистирующий ему инженер (лаборант) учебной лаборатории проводит инструктаж по технике безопасности. Преподаватель обязан следить за ходом ее выполнения на каждом рабочем месте, за соблюдением правил техники безопасности, консультировать студентов по возникающим у них вопросам, помогать, в выполнении работы. По окончании лабораторной работы преподаватель должен познакомиться с результатами, полученными студентами в ходе выполнения работы.

Все лабораторные работы должны быть оформлены в виде отдельных отчетов по лабораторным работам. После снятия опытных данных студенты обрабатывают результаты эксперимента, строят графики (если они предусмотрены в работе), делают выводы по работе. После выполнения лабораторной работы целесообразно проводить ее «защиту». Окончательно оформленные отчеты по лабораторным работам защищаются студентами в индивидуальном порядке в часы консультаций преподавателя. Это позволяет студентам еще раз повторить и осмыслить пройденный материал, а преподавателю оценить степень усвоения пройденного студентами материала.

Виды и формы отработки пропущенных занятий

Студент, пропустивший лекцию, обязан самостоятельно проработать тему и представить преподавателю, проводящему данный вид занятия, конспект занятия.

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

12. Методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине.

12.1 Методические рекомендации для чтения лекций

Лекции являются одним из важнейших видов учебных занятий. Они должны дать систематизированные основы научных знаний по дисциплине, концентрировать внимание студентов на наиболее сложных и узловых вопросах. Объем читаемых лекций определяется графиком изучения дисципли-

ны. Каждая лекция должна делиться на три части: введение, основная часть (учебные вопросы) и заключение.

Лекции должны иметь логическую связь с ранее изученным материалом и быть ориентированы на последующее применение излагаемого материала.

Для этой цели во введении к лекции преподаватель формулирует тему, учебные вопросы, отражающие содержание лекции и четко определяет цель данной лекции. Начиная изложение рассматриваемого материала, преподаватель устанавливает логическую связь данной лекции с предыдущим материалом и изучаемыми ранее дисциплинами. Введение должно занимать не более 10 минут, но должно полностью подготовить студента к восприятию излагаемого далее основного содержания.

Планируемый к изложению в лекциях материал должен отражать только основное содержание изучаемого вопроса, сочетаясь с примерами и, при необходимости, иллюстрируется слайд-презентацией, плакатами и другими техническими средствами обучения. При этом не следует, по возможности, включать в лекцию громоздкие выводы, пояснения и тому подобный материал, однако в таких случаях необходимо обязательно указывать разделы рекомендуемой литературы, где можно получить убедительные ответы на возникшие вопросы. Кроме этого, в лекции обращается внимание студентов на те вопросы изучаемого материала, которые он должен изучить самостоятельно по указанной в методических указаниях по данной дисциплине литературе.

В заключительной части лекции преподаватель должен подвести итог и сформулировать общие выводы, вытекающие из содержания основной части лекции, и еще раз обратить внимание на тот объем материала, который подлежит самостоятельному изучению.

12.2. Методические указания для проведения лабораторных работ

Лабораторные работы имеют целью обучить студентов методам экспериментальных исследований, привить навыки анализа и обработки полученных данных при работе с лабораторным оборудованием, вычислительной техники. На лабораторных работах закрепляется теоретический материал, полученный при изучении основных вопросов данной дисциплины. В начале лабораторной работы преподаватель должен определить его цель, указать взаимосвязь работы с разделами основного содержания дисциплины, проверить готовность студентов для выполнения данной работы. При подготовке 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, схемы рассматриваемой экспериментальной установки с указанием контрольно-измерительных приборов, расчетных формул, таблицы для записи опытных данных.

При достаточной технической оснащенности учебной лаборатории кафедры студенты выполняют лабораторную работу, предварительно разбившись по «бригадам», включающим в себя по 4 – 5 студентов. Если же нет такой технической возможности, то лабораторная работа выполняется сразу всей подгруппой или $\frac{1}{2}$ подгруппы. При этом преподаватель распределяет между студентами обязанности по выполнению лабораторной работы, стараясь задействовать в работе как можно больше студентов. Перед проведением лабораторной работы преподаватель или ассистирующий ему инженер (лаборант) учебной лаборатории проводит инструктаж по технике безопасности. Преподаватель обязан следить за ходом ее выполнения на каждом рабочем месте, за соблюдением правил техники безопасности, консультировать студентов по возникающим у них вопросам, помогать, в выполнении работы. По окончании лабораторной работы преподаватель должен познакомиться с результатами, полученными студентами в ходе выполнения работы.

Все лабораторные работы должны быть оформлены в отдельном «Журнале для лабораторных работ». Это может быть отдельная тетрадь, в которой студент на основе методических рекомендаций для проведения лабораторной работы, разработанных кафедрой, готовит свой персональный конспект, либо отдельный разработанный и изданный кафедрой макет конспекта лабораторной работы. После снятия опытных данных студенты обрабатывают результаты эксперимента, строят графики (если они предусмотрены в работе), делают выводы по работе. После выполнения лабораторной работы целесообразно проводить ее «защиту». Окончательно оформленные отчеты по лабораторным работам защищаются студентами в индивидуальном порядке в часы консультаций преподавателя. Это позволяет студентам еще раз повторить и осмыслить пройденный материал, а преподавателю оценить степень усвоения пройденного студентами материала.

Программу разработал:

Рудобашта С.П., д.т.н., профессор

РЕЦЕНЗИЯ

на рабочую программу дисциплины «Б1 . О . 36 Тепломассообмен»
ОПОП ВО по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,
направленность «Энергообеспечение предприятий»
(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», кандидатом технических наук проведена (далее по тексту рецензент), проведена рецензия рабочей программы дисциплины «Тепломассообмен» ОПОП ВО по направлению 13.03.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника», направленность «Энергообеспечение предприятий» (уровень обучения – бакалавр) разработанной в ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», на кафедре «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий» (разработчик – Рудобашта Станислав Павлович, профессор кафедры теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»).

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 – «Энергообеспечение предприятий». 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 обязательной 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» закреплено **пять две компетенции**. Дисциплина «Тепломассообмен» и представленная Программа способна реализовать их в объявленных требованиях. Результаты обучения, представленные в Программе в категориях знать, уметь, владеть соответствуют специфике и содержанию дисциплины и демонстрируют возможность получения заявленных результатов.

5. Общая трудоёмкость дисциплины «Тепломассообмен» составляет 6 зачётных единицы (216 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, используемые при реализации различных видов учебной работы. Формы образовательных технологий соответствуют специфике дисциплины.

8. Программа дисциплины «Тепломассообмен» предполагает 36 занятий в интерактивной форме.

9. Виды, содержание и трудоёмкость 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 (опрос, как в форме обсуждения отдельных вопросов, так и выступления и участие в дискуссиях, участие в тестировании), соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

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

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

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины представлено: основной литературой – 2 источника (базовых учебника), дополнительной литературой – 5 наименований, периодическими изданиями – 4 источника со ссылкой на электронные ресурсы Интернет-ресурсы – 2 источника 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 «Энергообеспечение предприятий» (квалификация выпускника – бакалавр), разработанная Рудобаштой Станиславом Павловичем, профессором кафедры теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», соответствует требованиям ФГОС ВО, современным требованиям экономики, рынка труда и позволит при её реализации успешно обеспечить формирование заявленных компетенций.

Рецензент: Андреев Сергей Андреевич, доцент кафедры «Автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф.Бородина», ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», кандидат технических наук _____

« 21 » 05 2021 г.
(подпись)

