

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

"БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по учебной работе

*Е.И. Луковникова* Е.И. Луковникова

*2022* г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.О.09 Тепломассообмен

Закреплена за кафедрой **Энергетики**

Учебный план bs130301\_22\_ПТЭ.plx

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Квалификация **Бакалавр**

Форма обучения **заочная**

Общая трудоемкость **7 ЗЕТ**

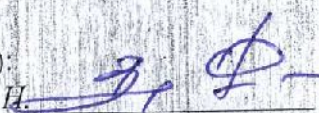
Виды контроля на курсах:

Контрольная работа 2, Экзамен 2

### Распределение часов дисциплины по курсам

Курс	2		Итого	
	уп	рп		
Лекции	2	2	2	2
Лабораторные	2	2	2	2
Практические	2	2	2	2
В том числе инт.	3	3	3	3
Итого ауд.	6	6	6	6
Контактная работа	6	6	6	6
Сам. работа	237	237	237	237
Часы на контроль	9	9	9	9
Итого	252	252	252	252

Программу составил(и):

к.т.н., доц. Федяева В.И. 

Рабочая программа дисциплины

**Тепломассообмен**

разработана в соответствии с ФГОС:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 143)


составлена на основании учебного плана:

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
утвержденного приказом ректора от 19.04.2022 протокол № 179.


Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

**Энергетики**Протокол от 26.04. 2022г. № 10Срок действия программы: 2022-2025 уч.г.Зав. кафедрой Булатов Ю.Н. 

Председатель МКФ

старший преподаватель Латушкина С.В. 13 20 мая 2022г. 

Ответственный за реализацию ОПОП

(подпись) (ФИО) Булатов Ю.Н.

Директор библиотеки

(подпись) Семин(ФИО) Семин Г.Ф.

№ регистрации

464  
(методический отдел)

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Председатель МКФ

старший преподаватель Латушкина С.В. \_\_\_\_\_ 2023 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры  
**Энергетики**

Внесены изменения/дополнения (Приложение \_\_\_\_\_)

Протокол от \_\_\_\_\_ 2023 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой Булатов Ю.Н.

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Председатель МКФ

старший преподаватель Латушкина С.В. \_\_\_\_\_ 2024 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2024-2025 учебном году на заседании кафедры  
**Энергетики**

Внесены изменения/дополнения (Приложение \_\_\_\_\_)

Протокол от \_\_\_\_\_ 2024 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой Булатов Ю.Н.

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Председатель МКФ

старший преподаватель Латушкина С.В. \_\_\_\_\_ 2025 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры  
**Энергетики**

Внесены изменения/дополнения (Приложение \_\_\_\_\_)

Протокол от \_\_\_\_\_ 2025 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой Булатов Ю.Н.

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Председатель МКФ

старший преподаватель Латушкина С.В. \_\_\_\_\_ 2026 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2026-2027 учебном году на заседании кафедры  
**Энергетики**

Внесены изменения/дополнения (Приложение \_\_\_\_\_)

Протокол от \_\_\_\_\_ 2026 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой Булатов Ю.Н.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1.1	Научить будущих специалистов владеть не только теорией, но и методами расчета основных процессов тепло и массообмена, формирование четких основных физических законов тепломассообмена.
-----	---

**2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП**

Цикл (раздел) ООП:	Б1.О.09
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>
2.1.1	Математика
2.1.2	Физика
2.1.3	Химия
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Технологические энергоносители предприятий
2.2.2	Тепломассообменное оборудование предприятий

**3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач**

Индикатор 1 | УК-1.2. Использует системный подход для решения поставленных задач.

**ОПК-3: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах**

Индикатор 1 | ОПК-3.3. Использует знание теплофизических свойств рабочих тел при расчетах теплотехнических установок и систем.

Индикатор 2 | ОПК-3.6. Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы.

Индикатор 3 | ОПК-3.7. Применяет знания основ тепломассообмена в теплотехнических установках.

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

<b>3.1</b>	<b>Знать:</b>
3.1.1	Законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим установкам и системам.
<b>3.2</b>	<b>Уметь:</b>
3.2.1	Рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью интенсификации процессов тепломассообмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты.
<b>3.3</b>	<b>Владеть:</b>
3.3.1	Основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования.

**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Код занятия	Вид занятия	Наименование разделов и тем	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Инте ракт.	Примечание
	Раздел	<b>Раздел 1. Способы теплообмена</b>						
1.1	Лек	Предмет курса, общие понятия. Основные процессы передачи тепла: теплопроводность, конвективный теплообмен, радиационный теплообмен.	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Л3.5 Э1	0,25	лекция – беседа; УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
1.2	Ср		2	21	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
1.3	Экзамен		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7

	Раздел	<b>Раздел 2. Дифференциальное уравнение теплопроводности и его решения; Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена</b>						
2.1	Лек	Дифференциальное уравнение теплопроводности. Коэффициент температуропроводности, зависимость от параметров процесса.	2	0,1	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
2.2	Лаб	Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала	2	0,5	УК-1 ОПК-3	Л3.5 Л3.6 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
2.3	Пр	Нестационарная теплопроводность в пластине цилиндре и в телах конечных размеров Теплопроводность при стационарном режиме	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л2.1Л3.1 Л3.3 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
2.4	Ср		2	21	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
2.5	Экзамен		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
2.6	Контр.раб.		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
	Раздел	<b>Раздел 3. Применение методов подобия и размерностей к изучению процессов конвективного теплообмена</b>						
3.1	Лек	Условия подобия физических процессов, свойства подобных процессов. Приведение уравнений тепловых потоков к безразмерному виду.	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0,25	лекция - беседа УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
3.2	Ср		2	21	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
3.3	Экзамен		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
	Раздел	<b>Раздел 4. Теплоотдача и гидравлическое сопротивление при вынужденном течении в каналах, обтекании трубы и пучка труб; расчет коэффициентов теплоотдачи при свободной конвекции</b>						

4.1	Лек	Особенности течения и теплообмена в трубах. Ламинарный и турбулентный режимы. Участки гидродинамической и тепловой стабилизации, стабилизированное течение. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы течения. Методы расчёта теплоотдачи при стабилизированном течении в трубах.	2	0,15	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
4.2	Лаб	Определение коэффициента теплопроводности металла	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л3.2 Л3.5 Л3.6 Э1	0,25	сотрудничества в малых группах УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
4.3	Лаб	Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции воздуха	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л3.2 Л3.5 Л3.6 Э1	0,25	сотрудничества в малых группах УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
4.4	Лаб	Определение коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на обогреваемом цилиндре	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л3.2 Л3.5 Л3.6 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
4.5	Пр	Теплоотдача при ламинарном и турбулентном обтекании плоской пластины, Критический диаметр тепловой изоляции трубы	2	0,5	УК-1 ОПК-3	Л2.1Л3.1 Л3.3 Э1	0,5	Работа в малых группах УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
4.6	Пр	Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании отдельной труб и трубных пучков Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах. Интенсификация процесса теплопередачи с помощью оребрения Теплоотдача при свободном движении жидкости	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л2.1Л3.1 Л3.3 Э1	0,25	Работа в малых группах УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
4.7	Ср		2	21	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
4.8	Экзамен		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
4.9	Контр.раб.		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
	Раздел	<b>Раздел 5. Теплообмен при фазовых превращениях</b>						

5.1	Лек	Конденсация сухого насыщенного пара на вертикальных стенках; ламинарное и турбулентное течение плёнки; теоретический расчёт теплоотдачи при ламинарном течении плёнки; расчёт средней теплоотдачи при наличии на поверхности ламинарной и турбулентной плёнки. Влияние на скорость конденсации пара наличия неконденсирующихся газов.	2	0,1	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
5.2	Пр	Теплообмен при кипении однокомпонентной жидкости	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л2.1Л3.1 Л3.3 Э1	0,25	Работа в малых группах УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
5.3	Ср		2	13	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
5.4	Экзамен		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
5.5	Контр.ра б.		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
	Раздел	<b>Раздел 6. Теплообмен излучением</b>						
6.1	Лек	Физика процесса передачи тепла электромагнитным излучением. Основные понятия: поток излучения, поверхностная и спектральная плотность потока излучения, интенсивность (яркость) излучения, взаимодействие тела с излучением (поглощение, отражение, пропускание), абсолютно чёрное и серое тело.	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0,25	лекция – беседа УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
6.2	Лаб	Определение степени черноты излучающей металлической поверхности Исследование теплообмена излучением	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л3.4 Л3.5 Л3.6 Э1	0,25	сотрудничества в малых группах УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
6.3	Пр	Теплообмен излучением	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л2.1Л3.1 Л3.3 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
6.4	Ср		2	22	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
6.5	Экзамен		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
6.6	Контр.ра б.		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7

	Раздел	<b>Раздел 7. Сложный теплообмен.</b>						
7.1	Лек	Передача тепла через плоскую стенку. Распределение температуры в тонкой стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Параметры теплового потока, электрогидротепловая аналогия. Передача тепла через многослойную плоскую стенку.	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0,25	лекция – беседа УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
7.2	Лек	Передача тепла через цилиндрическую стенку. Распределение температур в стенке длинного цилиндра при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Анализ параметров теплового потока, приближённые формулы. Многослойная цилиндрическая стенка, критический диаметр тепловой изоляции трубы.	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
7.3	Пр	Определение поверхностей нагрева теплообменных аппаратов при прямо-противотоке (и с использовани-ем ЭВМ)	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л2.1Л3.1 Л3.3 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
7.4	Ср		2	26	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
7.5	Экзамен		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
7.6	Контр.раб.		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
	Раздел	<b>Раздел 8. Массообмен: Поток массы компонента; Вектор плотности потока массы.</b>						
8.1	Лек	Конвективный теплообмен как совокупность молекулярного и молярного переноса. Теплоотдача: в однофазных жидкостях и при фазовых превращениях, при вынужденной и естественной конвекции. Понятие о тепловом пограничном слое и связь с гидравлическим пограничным слоем.	2	0,1	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7



8.2	Лек	Ламинарное и турбулентное течение жидкости, связь режима течения с теплообменом. Система дифференциальных уравнений неизотермического движения: уравнения теплоотдачи, энергии, движения и сплошности.	2	0,1	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
8.3	Ср		2	22	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
8.4	Экзамен		2	1	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
	Раздел	<b>Раздел 9. Молекулярная диффузия: концентрационная диффузия, закон Фика; Термо- и бародиффузия; Массоотдача Математическое описание и аналогия процессов массо- и теплообмена</b>						
9.1	Лек	Основные положения теории массообмена. Концентрационная, термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена.	2	0,1	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
9.2	Ср		2	30	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
9.3	Экзамен		2	1	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
	Раздел	<b>Раздел 10. Тепломассообмен; теплогидравлический расчет тепло обменных аппаратов.</b>						
10.1	Лек	Назначение и классификация теплообменных аппаратов. Основы теплового и гидравлического расчётов теплообменников: проектный и поверочный расчёты.	2	0,1	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
10.2	Лаб	Определение коэффициента теплопередачи при течении жидкости в трубе (труба в трубе)	2	0,5	УК-1 ОПК-3	Л3.5 Л3.6 Э1	0,25	сотрудничества в малых группах УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
10.3	Пр	Порядок теплового расчета и основные этапы Основы гидравлического расчета теплообменника	2	0,25	УК-1 ОПК-3	Л2.1Л3.1 Л3.3 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7

10.4	Ср		2	40	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
10.5	Экзамен		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Л1.1Л2.1 Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7
10.6	Контр.ра б.		2	0,5	УК-1 ОПК-3	Э1	0	УК-1.2; ОПК-3.3; ОПК-3.6; ОПК-3.7

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Образовательные технологии с использованием активных методов обучения (лекция – беседа)

Технология коллективного взаимодействия (работа в малых группах) (самостоятельное изучение обучающимися нового материала посредством сотрудничества в малых группах, дает возможность всем участникам участвовать в работе, практиковать навыки сотрудничества, межличностного общения)

### 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

#### 6.1. Контрольные вопросы и задания

Текущий контроль защита лабораторных работ:

Лабораторная работа №1 "Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала"

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какова цель работы?
2. Что такое теплопроводность?
3. В чем измеряется теплопроводность?
4. Что такое коэффициент теплопроводности?
5. Что называется стационарным режимом?

Лабораторная работа №2 "Определение коэффициента теплопроводности металла"

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какова цель работы?
2. Что такое теплопроводность?
3. Какие материалы обладают лучшей теплопроводностью?
4. В чем измеряется теплопроводность?
5. Какие металлы обладают наибольшей теплопроводностью?

Лабораторная работа №3 "Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции воздуха"

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какой критерий является определяемым при нахождении коэффициента теплоотдачи?
2. Какие критерии подобия являются определяющими для теплообмена при вынужденной конвекции?
3. Какие режимы течения теплоносителя в трубах или каналах возможны при вынужденной конвекции и какими критериальными уравнениями следует воспользоваться?
4. Какой коэффициент теплоотдачи имеет большее значение при движении теплоносителя: в трубах, вдоль или поперек пучка трубок, если температура, давление и скорость теплоносителя одинаковы?
5. Дайте определение конвекции, вынужденной конвекции?
6. Из каких отдельных элементов состоит трубчатый теплообменник?

Лабораторная работа №4 "Определение коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на обогреваемом цилиндре"

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте цель работы.
2. Дать определение коэффициенту теплоотдачи.
3. Что такое конвекция?
4. Что показывает тепловой поток?
5. Приведите уравнение теплового потока.

Лабораторная работа №5 "Определение степени черноты излучающей металлической поверхности"

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте закон Стефана-Больцмана.
2. Что такое степень черноты?
3. Что такое излучательная способность тела?
4. Дать определение абсолютно черного тела.

Лабораторная работа №6 "Исследование теплообмена излучением"

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Как формируются запросы в Access?
2. Какие операторы вы использовали в работе?
3. Написать запрос по заданию преподавателя.
4. Как работают сложные запросы?

Лабораторная работа №7 "Определение коэффициента теплопередачи при течении жидкости в трубе (труба в трубе)"

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое теплообменные аппараты?
2. Какие теплообменные аппараты называются поверхностными?
3. Какие схемы движения теплоносителя вы знаете?
4. Что такое коэффициент теплоотдачи и его единицы измерения?
5. Приведите формулу для определения коэффициента теплоотдачи.

## 6.2. Темы письменных работ

Контрольная работа:

Цель работы: Контрольная работа выполняется с целью закрепления знаний, полученных в процессе изучения дисциплины.

Основная тематика: расчет, выбор типа и конструкции поверхностного многоходового кожухотрубного теплообменника.

Рекомендуемый объем работы: Бакалаврам по учебному плану необходимо выполнить контрольную работу. Вариант контрольной работы определяется двумя последними цифрами зачетной книжки. При этом в каждом задании часть исходных данных выбирается по последней цифре шифра, а часть – по предпоследней. Рекомендуемый объем 10-15 страниц.

В конце работы необходимо привести список использованной литературы, в самом тексте контрольной работы дать ссылки на соответствующие источники.

Выдача задания, прием контрольной работы проводится в соответствии с календарным учебным графиком.

## 6.3. Фонд оценочных средств

Экзаменационные вопросы:

Раздел №1 "Способы теплообмена"

- 1.1 Предмет курса, общие понятия.
- 1.2 Основные процессы передачи тепла: теплопроводность, конвективный теплообмен, радиационный теплообмен.
- 1.3 Теплоотдача и теплопередача.
- 1.4 Основные количественные характеристики процесса переноса тепла: количество тепла, тепловой поток, плотность теплового потока, мощность внутренних источников тепла.
- 1.5 Важнейшие этапы развития учения о тепло- и массообмене, вклад российских учёных в развитие учения о теплообмене, перспективы развития.
- 1.6 Коэффициент температуропроводности, зависимость от параметров процесса.
- 1.7 Краевые условия для процессов теплопроводности: начальные и граничные условия первого, второго, третьего и четвертого рода.
- 1.8 Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.

Раздел №2 "Дифференциальное уравнение теплопроводности и его решения; Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена"

- 2.1 Закон Ньютона-Рихмана.
- 2.2 Условия подобия физических процессов, свойства подобных процессов.
- 2.3 Приведение уравнений тепловых потоков к безразмерному виду.
- 2.4 Особенности течения и теплообмена в трубах. Ламинарный и турбулентный режимы. Участки гидродинамической и тепловой стабилизации, стабилизированное течение.
- 2.5 Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы течения. Методы расчёта теплоотдачи при стабилизированном течении в трубах.
- 2.6 Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режимах течения жидкости в гладких трубах круглого сечения, расчётные формулы. Теплоотдача при переходном режиме течения жидкости.
- 2.7 Теплоотдача в трубах некруглого поперечного сечения и в изогнутых и шероховатых трубах.
- 2.8 Изменение теплоотдачи по окружности трубок пучка. Изменение теплоотдачи (средние ряды) в зависимости от номера ряда и межосевых расстояний трубок. Расчетные зависимости. Сравнительная теплоотдача шахматного и коридорного пучков труб.

Раздел №3 "Применение методов подобия и размерностей к изучению процессов конвективного теплообмена"

- 3.1 Результаты теоретических и экспериментальных исследований теплоотдачи при естественной конвекции. Расчётные уравнения.
- 3.2 Теплоотдача в ограниченном пространстве, методика расчёта.
- 3.3 Пограничные гидродинамический и тепловой слои: определение границ для ламинарного и турбулентного слоёв.
- 3.4 Интегральное уравнение теплового потока.
- 3.5 Влияние переменных физических параметров на теплопередачу. Расчёт теплоотдачи при турбулентном пограничном слое на основе гидродинамической теории теплообмена.

- 3.6 Влияние перегрева и влажности пара на коэффициент теплоотдачи. Условия возникновения кипения и его механизм: перегрев жидкости и наличие центров парообразования, возникновение паровой фазы и образование паровых пузырей.
- 3.7 Влияние смачиваемости стенки жидкостью. Рост, отрыв и движение пузырей пара. Минимальный радиус центра парообразования, изменение диаметра пузыря во времени, отрывной диаметр.
- 3.8 Зависимость коэффициента теплоотдачи и плотности теплового потока от температурного напора при кипении в большом объёме для области пузырьчатого кипения.

Раздел №4 "Теплоотдача и гидравлическое сопротивление при вынужденном течении в каналах, обтекании трубы и пучка труб; расчет коэффициентов теплоотдачи при свободной конвекции"

- 4.1 Плёночный режим. Первая и вторая критические плотности теплового потока. Изменение теплоотдачи и температуры стенки при плёночном режиме кипения.
- 4.2 Зависимость коэффициента теплоотдачи от давления, свойств жидкости, состояния твёрдой поверхности и других факторов при кипении в большом объёме.
- 4.3 Расчётные зависимости для коэффициента теплоотдачи в условиях свободного движения.
- 4.4 Механизм плёночного кипения, расчётные зависимости.
- 4.5 Физика процесса передачи тепла электромагнитным излучением.
- 4.6 Законы излучения абсолютно чёрного тела: закон Планка, закон Вина, закон Стефана - Больцмана.
- 4.7 Закон Кирхгофа для монохроматического и интегрального излучения.
- 4.8 Закон Ламберта.

Раздел №5 "Теплообмен при фазовых превращениях"

- 5.1 Применение экранов.
- 5.2 Анализ параметров теплового потока, приближённые формулы.
- 5.3 Численные методы решения задач теплопроводности.
- 5.4 Система дифференциальных уравнений неизоэтермического движения: уравнения теплоотдачи, энергии, движения и сплошности.
- 5.5 Основные положения теории массообмена. Концентрационная, термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии.
- 5.6 Диффузионный пограничный слой, его описание. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Коэффициент массоотдачи.
- 5.7 Применение теории подобия к процессам массообмена, основные числа подобия. Аналогия процессов тепло - и массообмена.
- 5.8 Основы теплового и гидравлического расчётов теплообменников: проектный и поверочный расчёты.

Раздел №6 "Теплообмен излучением"

- 6.1 Порядок теплового расчёта и основные этапы: выбор теплоносителей и схемы их движения, сведение параметров движения теплоносителей к тепловому балансу, определение конечных параметров теплоносителей, среднего температурного напора, среднего коэффициента теплопередачи, параметров разделительной твёрдой поверхности.
- 6.2 Порядок гидравлического расчёта: определение потерь на трение и в местных сопротивлениях для каждого теплоносителя, выбор необходимых мощностей для обеспечения заданных режимов течения теплоносителей.
- 6.3 Механизм процесса теплопроводности в твёрдых телах, в жидкостях и газах.
- 6.4 Температурное поле, градиент температуры, закон Фурье.
- 6.5 Коэффициент теплопроводности, зависимость от параметров процесса.
- 6.6 Дифференциальное уравнение теплопроводности.
- 6.7 Общее представление о методах решения задач теплопроводности.
- 6.8 Пи – теорема, основные критерии теплового подобия.

Раздел №7 "Сложный теплообмен."

- 7.1 Использование опытных данных для получения полуэмпирических уравнений подобия.
- 7.2 Параметры пограничного слоя при поперечном обтекании цилиндрических поверхностей и их связь с теплоотдачей.
- 7.3 Характер изменения теплоотдачи при различных условиях омывания жидкостью. Средний коэффициент теплоотдачи, расчетные зависимости.
- 7.4 Влияние степени турбулизации набегающего потока и угла атаки на теплоотдачу цилиндра.
- 7.5 Основные типы пучков труб. Ламинарное и турбулентное течение жидкости в пучках.
- 7.6 Факторы, обуславливающие свободное движение жидкости. Характер движения жидкости вдоль вертикальной стенки, распределение в ней температур и скоростей, изменение коэффициента теплоотдачи по высоте стенки. Характер движения жидкости вблизи горизонтальных труб и пластин.
- 7.7 Теплоотдача при ламинарном пограничном слое.
- 7.8 Соотношение толщин гидродинамического и теплового пограничных слоёв.

Раздел №8 "Массообмен: Поток массы компонента; Вектор плотности потока массы."

- 8.1 Условия необходимые для конденсации пара. Плёночная и капельная конденсация. Коэффициент конденсации.
- 8.2 Термическое сопротивление фазового перехода.
- 8.3 Конденсация сухого насыщенного пара на вертикальных стенках; ламинарное и турбулентное течение плёнки; теоретический расчёт теплоотдачи при ламинарном течении плёнки; расчёт средней теплоотдачи при наличии на поверхности ламинарной и турбулентной плёнки.
- 8.4 Влияние на скорость конденсации пара наличия неконденсирующихся газов.

- 8.5 Конденсация пара внутри труб, на поверхности горизонтальных труб и трубных пучков. Теплоотдача при капельной конденсации пара.
- 8.6 Теплообмен между стенкой и жидкой фазой. Между жидкой и паровой фазой.
- 8.7 Теплообмен при кипении жидкости в трубах: характер движения парожидкостной смеси в горизонтальных и вертикальных трубах.
- 8.8 Основные понятия: поток излучения, поверхностная и спектральная плотность потока излучения, интенсивность (яркость) излучения, взаимодействие тела с излучением (поглощение, отражение, пропускание), абсолютно чёрное и серое тело.

Раздел №9 "Молекулярная диффузия: концентрационная диффузия, закон Фика; Термо- и бародиффузия; Массоотдача Математическое описание и аналогия процессов массо- и теплообмена"

- 9.1 Степень черноты серого тела.
- 9.2 Теплообмен излучением в замкнутой системе, состоящей из двух серых тел: общий случай, тел с плоскопараллельными поверхностями.
- 9.3 Особенности теплообмена излучением в поглощающих средах.
- 9.4 Передача тепла через плоскую стенку. Распределение температуры в тонкой стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности.
- 9.5 Параметры теплового потока, электрогидротепловая аналогия. Передача тепла через многослойную плоскую стенку.
- 9.6 Передача тепла через цилиндрическую стенку. Распределение температур в стенке длинного цилиндра при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности.
- 9.7 Многослойная цилиндрическая стенка, критический диаметр тепловой изоляции трубы.
- 9.8 Передача тепла через шаровую стенку.
- 9.9 Теплопроводность в стержне постоянного поперечного сечения конечной и бесконечной длины.
- 9.10 Интенсификация процесса теплопередачи, теплопередача ребристых стенок.

Раздел №10 "Тепломассообмен; теплогидравлический расчет тепло обменных аппаратов."

- 10.1 Нагревание (охлаждение) пластин и цилиндров конечной толщины и диаметра, при бесконечной ширине пластины и длинах. Нагревание (охлаждение) тел конечных размеров.
- 10.2 Регулярный режим нагревания (охлаждения) тел: свойства температурного поля в начальный период и в регулярном режиме; темп охлаждения и определение теплофизических характеристик методом регулярного режима.
- 10.3 Конвективный теплообмен как совокупность молекулярного и молярного переноса.
- 10.4 Теплоотдача: в однофазных жидкостях и при фазовых превращениях, при вынужденной и естественной конвекции.
- 10.5 Понятие о тепловом пограничном слое и связь с гидравлическим пограничным слоем.
- 10.6 Ламинарное и турбулентное течение жидкости, связь режима течения с теплообменом.
- 10.7 Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена.
- 10.8 Назначение и классификация теплообменных аппаратов.

#### 6.4. Перечень видов оценочных средств

Отчеты по лабораторным работам, Контрольная работа, экзаменационные вопросы.

### 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### 7.1. Рекомендуемая литература

##### 7.1.1. Основная литература

	Авторы,	Заглавие	Издательство,	Кол-во	Эл. адрес
Л1. 1	Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А.	Тепломассообмен: Учеб. пособие для вузов	Москва: МЭИ, 2005	51	

##### 7.1.2. Дополнительная литература

	Авторы,	Заглавие	Издательство,	Кол-во	Эл. адрес
Л2. 1	Кошкин В.К., Калинин Э.К.	Теплообменные аппараты и теплоносители (теория и расчет): учебное пособие	Москва: Машиностроени е, 1971	10	

##### 7.1.3. Методические разработки

	Авторы,	Заглавие	Издательство,	Кол-во	Эл. адрес
Л3. 1	Федяева В.Н.	Промышленные тепломассообменные процессы и установки: Рабочая программа, методические указания, практические и контрольные задания	Братск: БрГТУ, 2000	20	
Л3. 2	Федяева В.Н., Федяев А.А.	Тепломассообмен. Определение коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции на обогреваемом цилиндре: Методические указания по выполнению лабораторных работ	Братск: БрГУ, 2009	29	

	Авторы,	Заглавие	Издательство,	Кол-во	Эл. адрес
ЛЗ. 3	Федяева В.Н., Федяев А.А.	Тепломассообмен. Определение коэффициента теплопередачи при течении жидкости в трубе (труба в трубе): методические указания	Братск: БрГУ, 2011	125	
ЛЗ. 4	Коваленко И.В.	Теплотехника. Исследование теплообмена излучением: методические указания по выполнению лабораторной работы	Братск: БрГУ, 2011	85	
ЛЗ. 5	Федяева В.Н., Федяев А.А.	Тепломассообмен. Определение коэффициента теплопроводности металла: методические указания по выполнению лабораторной работы	Братск: БрГУ, 2012	27	
ЛЗ. 6	Федяева В.Н., Михолап Н.Н.	Тепломассообмен. Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции воздуха: методические указания по выполнению лабораторной работы	Братск: БрГУ, 2013	69	
<b>7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"</b>					
Э1	<a href="http://ecat.brstu.ru/catalog">http://ecat.brstu.ru/catalog</a>				
<b>7.3.1 Перечень программного обеспечения</b>					
7.3.1.1	Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level				
7.3.1.2	КОМПАС-3D V13				
<b>7.3.2 Перечень информационных справочных систем</b>					
7.3.2.1	ИСС "Кодекс". Информационно-справочная система				
7.3.2.2	Справочно-правовая система «Консультант Плюс»				
7.3.2.3	Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"				
7.3.2.4	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU				
7.3.2.5	Национальная электронная библиотека НЭБ				
7.3.2.6	Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)				
7.3.2.7	Издательство "Лань" электронно-библиотечная система				
7.3.2.8	«Университетская библиотека online»				
<b>8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b>					
1223	Лаборатория общей теплотехники	<p>Основное оборудование:            Автоматизированный стенд-тренажёр «Автономная система отопления», Лабораторная установка для изучения процессов во влажном воздухе, Лабораторная установка для изучения теплообмена при различных режимах кипения жидкости, Лабораторная установка для изучения теплообмена излучением, Лабораторная установка для исследования теплопередачи «труба в трубе», Стенд «Определение удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении методом протока», Автоматизированный компьютеры Intel(P) Celer CPU 240 GHz/228 MB –3 шт.; Intel 2.6 GHz/RAM-512Mb, Лабораторная установка для определения коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции, Лабораторная установка для определения теплоёмкости (P=const), Учебный стенд «Определение коэффициента теплопроводности металла», Стенд лабораторный, Учебно-демонстрационный комплекс «Техническая термодинамика. Тепломассообмен».</p> <p>Дополнительно:            Маркерная доска - 1 шт.            Учебная мебель:            Комплект мебели (посадочных мест) - 14 шт.            Комплект мебели (посадочных мест) для преподавателя – 1 шт.</p>			
0002*	лекционная аудитория	Учебная мебель			
1346	Учебная аудитория (дисплейный класс)	<p>Основное оборудование:            Системный блок CPU 5000/RAM 2Gb/HDD250Gb/2Gb- 16 шт.            Монитор TFT 19" LG L1953S-SF- 16 шт.            Интерактивная доска SMARTBoard 680I (77"/195,6 см) - 1 шт.            Проектор мультимедийный торговой марки "CASIO" модель XJ-UT310WN с настенным креплением CASIO YM-80 - 1 шт.            Принтер HP LaserJet P3005 - 1 шт.            Коммутатор D-link DES1026G - 1 шт.</p> <p>Учебная мебель:            Комплект мебели (посадочных мест/АРМ) – 32/16 шт.            Комплект мебели (посадочных мест) для преподавателя – 1 шт.</p>			

2201	читальный зал №1	Комплект мебели (посадочных мест) Стеллажи Комплект мебели (посадочных мест) для библиотекаря Выставочные шкафы ПК i5-2500/H67/4Gb (монитор TFT19 Samsung) (10шт.); принтер HP Laser Jet P2055D (1шт.)
------	------------------	---

### 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Дисциплина тепломассообмен направлена на ознакомление с основными процессами передачи тепла в различных системах и материалах (теплопроводность, конвективный теплообмен, радиационный теплообмен, теплоотдача и теплопередача.); на получение теоретических знаний и практических навыков по проведению теплового и гидравлического расчётов поверхностного многоходового кожухотрубного теплообменного аппарата.

Изучение дисциплины тепломассообмен предусматривает:

- лекции,
- лабораторные работы,
- практические работы;
- контрольную работу,
- самостоятельную работу,
- экзамен.

В ходе освоения раздела 1 «Способы теплообмена» студенты должны уяснить: основные процессы передачи тепла (теплопроводность, конвективный теплообмен, радиационный теплообмен), а так же основные количественные характеристики процесса переноса тепла (количество тепла, тепловой поток, плотность теплового потока, мощность внутренних источников тепла).

В ходе освоения раздела 2 «Дифференциальное уравнение теплопроводности и его решения; Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена» студенты должны уяснить дифференциальное уравнение теплопроводности и сформировать общее представление о методах решения задач теплопроводности.

В ходе освоения раздела 3 «Применение методов подобия и размерностей к изучению процессов конвективного теплообмена» студенты должны уяснить: условия подобия физических процессов, свойства подобных процессов и основные критерии теплового подобия.

В ходе освоения раздела 4 «Теплоотдача и гидравлическое сопротивление при вынужденном течении в каналах, обтекании трубы и пучка труб; расчет коэффициентов теплоотдачи при свободной конвекции» студенты должны уяснить: особенности течения и теплообмена в трубах (ламинарный и турбулентный режимы, участки гидродинамической и тепловой стабилизации, стабилизированное течение), методы расчёта теплоотдачи при различных условиях и режимах течения.

В ходе освоения раздела 5 «Теплообмен при фазовых превращениях» студенты должны уяснить: условия необходимые для конденсации пара, расчётные уравнения для коэффициента теплоотдачи и его зависимость от различных параметров, а так же процесс и режимы кипения.

В ходе освоения раздела 6 «Теплообмен излучением» студенты должны уяснить: основные понятия: поток излучения, поверхностная и спектральная плотность потока излучения, интенсивность (яркость) излучения, взаимодействие тела с излучением (поглощение, отражение, пропускание), абсолютно чёрное и серое тело.

В ходе освоения раздела 7 «Сложный теплообмен» студенты должны уяснить: способы передачи тепла при сложном теплообмене, а так же численные методы решения задач теплопроводности.

В ходе освоения раздела 8 «Массообмен: Поток массы компонента; Вектор плотности потока массы» студенты должны уяснить: принцип конвективного теплообмена как совокупность молекулярного и молярного переноса; процесс теплоотдачи в однофазных жидкостях и при фазовых превращениях, при вынужденной и естественной конвекции; понятие о тепловом пограничном слое и связь с гидравлическим пограничным слоем; ламинарное и турбулентное течение жидкости, связь режима течения с теплообменом.

В ходе освоения раздела 9 «Молекулярная диффузия: концентрационная диффузия, закон Фика; Термо- и бародиффузия; массоотдача; Математическое описание и аналогия процессов массо- и теплообмена» студенты должны уяснить: основные положения теории массообмена (концентрационная, термо- и бародиффузия, закон Фика); коэффициент диффузии; диффузионный пограничный слой, его описание; граничные условия на поверхности раздела фаз; применение теории подобия к процессам массообмена, основные числа подобия. Аналогия процессов тепло - и массообмена.

В ходе освоения раздела 10 «Тепломассообмен; теплогидравлический расчет теплообменных аппаратов» студенты должны уяснить: назначение и классификация теплообменных аппаратов; основы теплового и гидравлического расчётов теплообменников: проектный и поверочный расчёты.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: основные способы теплообмена; система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена; применение методов подобия и размерностей к изучению процессов конвективного теплообмена; расчет коэффициентов теплоотдачи при свободной конвекции; теплообмен при фазовых превращениях; теплообмен излучением; сложный теплообмен; массообмен; молекулярная диффузия; массоотдача; назначение и классификация теплообменных аппаратов; основы теплового и гидравлического расчётов теплообменников: проектный и поверочный расчёты.

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление знаний о стационарной и нестационарной теплопроводности в пластине цилиндре и в телах конечных размеров; критическом диаметре тепловой изоляции трубы; теплоотдача при ламинарном и турбулентном обтекании плоской пластины, при вынужденном поперечном обтекании отдельный труб и трубных пучков, при вынужденном движении жидкости в трубах, при свободном движении жидкости, при кипении однокомпонентной жидкости; интенсификации процесса теплопередачи с помощью оребрения; теплообмене излучением. А так же определение поверхностей нагрева теплообменных аппаратов при прямо и противотоке; порядок теплового и гидравлического расчетов и основные этапы.

В процессе проведения лабораторных работ происходит формирование умений и навыков реализации определение

коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала и металла; определение коэффициента теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции воздуха; определение коэффициента теплопередачи при течении жидкости в трубе; исследование теплообмена излучением.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий (в виде презентаций, проблемной лекции, лекции с запланированными ошибками) в сочетании с внеаудиторной работой.