МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ:
Первый проректор-проректор по учебной работе
_____ / Д.Е. Овчинников
"_____" _____ 20___ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.О.03.02 «Тепломассообмен»

Код и направление подготовки (специальность)	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Направленность (профиль)	Тепловые электрические станции
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Теплоэнергетический факультет
Выпускающая кафедра	кафедра "Тепловые электрические станции"
Кафедра-разработчик	кафедра "Теоретические основы теплотехники и гидромеханика"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	252 / 7
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

Самара 2023

Б1.О.03.02 «Тепломассообмен»

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) **13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от № 143 от 28.02.2018 и соответствующего учебного плана.

Разработчик РПД:

Доцент, кандидат технических наук	Р.Ж Габдушев
(должность, степень, ученое звание)	(ФИО)

Заведующий кафедрой	В.А. Кудинов, доктор физико-математических наук, профессор
	(ФИО, степень, ученое звание)

СОГЛАСОВАНО:

Председатель методического совета факультета / института (или учебно-методической комиссии)	Н.В Маслобойникова, кандидат филологических наук, доцент
	(ФИО, степень, ученое звание)
Руководитель образовательной программы	А.Ю. Губарев, кандидат технических наук
	(ФИО, степень, ученое звание)
Заведующий выпускающей кафедрой	К.В. Трубицын, кандидат экономических наук, доцент
	(ФИО, степень, ученое звание)

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 4
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы 4
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся 5
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий 5
4.1 Содержание лекционных занятий 6
4.2 Содержание лабораторных занятий 8
4.3 Содержание практических занятий 10
4.4. Содержание самостоятельной работы 14
5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю) 17
6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения 17
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем 17
8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю) 18
9. Методические материалы 18
10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) 20

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Общепрофессиональные компетенции			
Теоретическая профессиональная подготовка	ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ОПК-4.1 Знать основные способы получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	Знать основные способы получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах
		ОПК-4.2 Уметь выполнять расчёты теплотехнических установок и систем	Уметь выполнять расчёты теплотехнических установок и систем
		ОПК-4.3 Владеть навыками применения основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	Владеть навыками применения основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы: **обязательная часть**

Код компетенции	Предшествующие дисциплины	Параллельно осваиваемые дисциплины	Последующие дисциплины
ОПК-4	Производство и распределение энергии; Техническая термодинамика	Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии; Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнике	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Вид учебной работы	Всего часов / часов в электронной форме	5 семестр часов / часов в электронной форме	6 семестр часов / часов в электронной форме
Аудиторная контактная работа (всего), в том числе:	112	64	48
Лабораторные работы	16	16	0
Лекции	32	16	16
Практические занятия	64	32	32
Внеаудиторная контактная работа, КСР	7	3	4
Самостоятельная работа (всего), в том числе:	70	14	56
выполнение расчетно-графических работ	14	4	10
подготовка к лабораторным работам	4	4	0
подготовка к экзамену	22	6	16
выполнение курсовых работ	30	0	30
Контроль	63	27	36
Итого: час	252	108	144
Итого: з.е.	7	3	4

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы				
		ЛЗ	ЛР	ПЗ	СРС	Всего часов
1	Основные понятия и определения	2	0	2	6	10
2	Теплопроводность	6	4	8	8	26
3	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	6	8	10	8	32
4	Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи	4	2	8	7	21
5	Лучистый теплообмен	4	0	8	8	20
6	Теплопередача	4	0	8	8	20
7	Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	2	2	8	19	31
8	Теплопроводность при нестационарном режиме	2	0	6	2	10
9	Основы теории массообмена	2	0	6	4	12
	КСР	0	0	0	0	7
	Контроль	0	0	0	0	63

	Итого	32	16	64	70	252

4.1 Содержание лекционных занятий

№ занятия	Наименование раздела	Тема лекции	Содержание лекции (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов / часов в электронной форме
5 семестр				
1	Основные понятия и определения	Тема 1.1. Способы передачи теплоты. Тема 1.2. Количественные характеристики переноса теплоты	Способы тепло-и массопереноса: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия. Феноменологический метод изучения явлений тепло-и массообмена. Понятие «жидкость» в теории теплообмена. Тепловой поток. Плотность теплового потока для плоских стенок и линейная плотность теплового потока для цилиндрических стенок. Их размерность и дифференциальная форма записи.	2
2	Теплопроводность	Тема 2.1. Основной закон теплопроводности. Тема 2.2. Коэффициент теплопроводности	Основные понятия: температурное поле, изотермическая поверхность, градиент температуры, плотность теплового потока. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей и твёрдых тел, его физический смысл. Зависимость от температуры, давления и влажности материала.	2
3	Теплопроводность	Тема 2.3. Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режиме	Однородная плоская стенка. Многослойная стенка. Термическое и полное термическое сопротивление плоской (многослойной) стенки. Контактное термическое сопротивление.	2
4	Теплопроводность	Тема 2.3. Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режиме	Цилиндрическая стенка. Многослойная цилиндрическая стенка. Линейное термическое и полное термическое сопротивление цилиндрической (многослойной) стенки. Шаровая стенка.	2
5	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	Тема 3.1. Основной закон конвективного теплообмена. Тема 3.2. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена	Теплоотдача. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Естественная и вынужденная конвекция. Термический коэффициент объемного расширения. Уравнение энергии, движения, сплошности (неразрывности). Краевые условия или условия однозначности: геометрические, начальные, физические и граничные условия. Перевод в безразмерный вид. Основные критерии подобия: Нуссельта, Рейнольдса, Пекле, Прандтля, Грасгофа, Фурье.	2

6	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	Тема 3.3. Определяющий размер, определяющая температура. Тема 3.4. Пограничный слой	Выбор определяющего размера и температуры для различных случаев. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Влияние его на теплообмен. Локальный коэффициент теплоотдачи при продольном обтекании пластины и при течении жидкости в трубе.	2
7	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	Тема 3.5. Понятие о методе анализа размерностей и теории подобия	Три теоремы подобия. Пи-теорема. Безразмерные параметры (комплексы).	2
8	Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи	Тема 4.1. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя. Тема 4.2. Теплоотдача при естественной конвекции	Продольное обтекание пластины. Обтекание шара. Поперечное обтекание одиночной трубы и пучка труб. Течение теплоносителя внутри труб. Эмпирические зависимости. Теплообмен в узких глухих каналах. Гидравлическое сопротивление при вынужденном течении в каналах, обтекании трубы и пучка труб.	2
			Итого за семестр:	**16**
6 семестр				
9	Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи	Тема 4.3. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества	Теплоотдача при кипении. Пленочный и пузырьковый режим. Кризис теплообмена при кипении. Теплоотдача при конденсации. Пленочная и капельная конденсация. Ориентировочные значения коэффициентов теплоотдачи.	2
10	Лучистый теплообмен	Тема 5.1. Тепловое излучение. Описание процесса и основные определения	Классификация излучения по длинам волн. Коэффициент поглощения, отражения, пропускания. Абсолютно черное, белое, прозрачное тело. Эффективное излучение. Закон Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа. Степень черноты тела.	2
11	Лучистый теплообмен	Тема 5.2. Теплообмен излучением системы тел в прозрачной среде. Тема 5.3. Использование экранов для защиты от излучения. Тема 5.4. Особенности излучения газов и паров	Формулы для определения теплового потока и плотности теплового потока между телами. Приведенная степень черноты. Коэффициент облученности тела. Оценка эффективности экрана. Основные расчетные зависимости.; Излучение CO2 и паров H2O. Определение степени черноты газа.	2
12	Теплопередача	Тема 6.1. Сложный теплообмен. Тема 6.2. Теплопередача между двумя жидкостями через разделяющую стенку	Конвективная и лучистая составляющие суммарного коэффициента теплоотдачи. Уравнение теплопередачи. Термическое сопротивление теплоотдачи и теплопередачи. Коэффициент теплопередачи для плоской и цилиндрической стенки.	2

13	Теплопередача	Тема 6.3. Интенсификация теплопередачи. Тема 6.4. Тепловая изоляция	Способы увеличения теплового потока. Коэффициент оребрения. Теплоизоляторы. Выбор теплоизолятора для трубопровода. Критический диаметр тепловой изоляции.	2
14	Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	Тема 7.1. Типы теплообменных аппаратов. Тема 7.2. Расчетные уравнения	Использование различных типов теплообменных аппаратов на практике. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Среднелогарифмический температурный напор. Водяной эквивалент.	2
15	Теплопроводность при нестационарном режиме	Тема 8.1. Дифференциальные уравнения нестационарной теплопроводности. Тема 8.2. Нагревание и охлаждение плоской (цилиндрической) стенки	Уравнения в прямоугольных и цилиндрических координатах. Граничные условия 1, 2, 3 рода. Условие сопряжения. Критерий Био. Математическая постановка задачи в размерном и безразмерном виде. Методы решения поставленной задачи – метод конечных разностей, метод разделения переменных.	2
16	Основы теории массообмена	Тема 9.1. Общие понятия и определения. Тема 9.2. Уравнение массообмена для бинарной смеси. Тема 9.3. Аналогия тепло-имассообмена	Диффузия. Поток массы. Коэффициент диффузии. Закон Фика. Термо-и бародиффузия. Дифференциальное уравнение массообмена. Второй закон Фика. Критерий Стантона. Параметр проницаемости.	2
			Итого за семестр:	**16**
			Итого:	**32**

4.2 Содержание лабораторных занятий

№ занятия	**Наименование раздела**	**Тема лабораторного занятия**	**Содержание лабораторного занятия** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов / часов в электронной форме**
5 семестр				
1	Теплопроводность	«Определение теплопроводности теплоизоляционного материала методом цилиндрического слоя»	Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режиме. Цилиндрическая стенка. Многослойная цилиндрическая стенка. Термическое сопротивление цилиндрической (многослойной) стенки	2
2	Теплопроводность	«Определение теплопроводности твердых материалов методом пластины при имитационном моделировании процесса теплообмена»	Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режиме. Однородная плоская стенка. Многослойная стенка. Термическое и полное термическое сопротивление плоской (многослойной) стенки.	2

3	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	«Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около горизонтального цилиндра методом имитационного моделирования процесса теплообмена»	Основной закон конвективного теплообмена. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Естественная конвекция. Термический коэффициент объемного расширения Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Условия однозначности: геометрические, начальные, физические и граничные. Основные критерии подобия: Нуссельта, Прандтля, Грасгофа. Определяющий размер, определяющая температура.Выбор определяющего размера и температуры для различных случаев. Пограничный слой. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Влияние его на теплообмен. Локальный коэффициент теплоотдачи.	2
4	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	«Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около вертикального цилиндра в атмосфере различных газов методом имитационного моделирования процесса теплообмена»	Основной закон конвективного теплообмена. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Естественная конвекция. Термический коэффициент объемного расширения Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Условия однозначности: геометрические, начальные, физические и граничные. Основные критерии подобия: Нуссельта, Прандтля, Грасгофа. Определяющий размер, определяющая температура. Выбор определяющего размера и температуры для различных случаев. Пограничный слой. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Влияние его на теплообмен. Локальный коэффициент теплоотдачи.	2
5	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	«Определение коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции методом регулярного режима»	Основной закон конвективного теплообмена. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Естественная конвекция. Термический коэффициент объемного расширения	2

6	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	«Определение коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции методом струны»	Основной закон конвективного теплообмена. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Естественная конвекция. Термический коэффициент объемного расширения Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Условия однозначности: геометрические, начальные, физические и граничные. Основные критерии подобия: Нуссельта, Прандтля, Грасгофа. Определяющий размер, определяющая температура. Выбор определяющего размера и температуры для различных случаев. Пограничный слой. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Влияние его на теплообмен. Локальный коэффициент теплоотдачи.	2
7	Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи	«Исследование теплоотдачи при вынужденном движении воздуха в трубе методом имитационного моделирования процесса теплообмена»	Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя. Продольное обтекание пластины. Обтекание шара. Поперечное обтекание одиночной трубы. Течение теплоносителя внутри труб.	2
8	Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	«Исследование работы теплообменного аппарата при имитационном моделировании»	Типы теплообменных аппаратов. Использование различных типов теплообменных аппаратов на практике. Расчетные уравнения. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Среднелогарифмический температурный напор. Водяной эквивалент.	2
			Итого за семестр:	**16**
			Итого:	**16**

4.3 Содержание практических занятий

№ занятия	**Наименование раздела**	**Тема практического занятия**	**Содержание практического занятия** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов / часов в электронной форме**
5 семестр				
1	Основные понятия и определения	Тема 1.1. Способы передачи теплоты. Тема 1.2. Количественные характеристики переноса теплоты	Способы тепло-и массопереноса: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия.Тепловой поток. Плотность теплового потока для плоских стенок и линейная плотность теплового потока для цилиндрических стенок. Их размерность и дифференциальная форма записи.	2

2	Теплопроводность	Тема 2.1. Основной закон теплопроводности	Понятия: температурное поле, изотермическая поверхность, градиент температуры, вектор плотности теплового потока. Закон Фурье.	2
3	Теплопроводность	Тема 2.2. Коэффициент теплопроводности	Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей и твёрдых тел, его физический смысл. Зависимость от температуры материала	2
4	Теплопроводность	Тема 2.3. Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режиме	Однородная плоская стенка. Многослойная стенка. Термическое и полное термическое сопротивление плоской (многослойной) стенки. Контактное термическое сопротивление.	2
5	Теплопроводность	Тема 2.3. Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режиме	Цилиндрическая стенка. Многослойная цилиндрическая стенка. Линейное термическое и полное термическое сопротивление цилиндрической (многослойной) стенки.	2
6	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	Тема 3.1. Основной закон конвективного теплообмена	Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Естественная конвекция. Термический коэффициент объемного расширения	2
7	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	Тема 3.2. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена	Уравнение энергии, движения, сплошности (неразрывности). Краевые условия или условия однозначности: геометрические, начальные, физические и граничные условия. Перевод в безразмерный вид. Основные критерии подобия: Нуссельта, Рейнольдса, Пекле, Прандтля, Грасгофа, Фурье.	2
8	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	Тема 3.2. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена	Уравнение энергии, движения, сплошности (неразрывности). Краевые условия или условия однозначности: геометрические, начальные, физические и граничные условия. Перевод в безразмерный вид. Основные критерии подобия: Нуссельта, Рейнольдса, Пекле, Прандтля, Грасгофа, Фурье.	2
9	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	Тема 3.3. Определяющий размер, определяющая температура	Выбор определяющего размера и температуры для различных случаев.	2
10	Конвективный теплообмен (теплоотдача)	Тема 3.4. Пограничный слой	Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Влияние его на теплообмен. Локальный коэффициент теплоотдачи при продольном обтекании пластины и при течении жидкости в трубе.	2
11	Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи	Тема 4.1. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя	Продольное обтекание пластины. Обтекание шара. Поперечное обтекание одиночной трубы и пучка труб. Течение теплоносителя внутри труб.	2

12	Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи	Тема 4.2. Теплоотдача при естественной конвекции	Эмпирические зависимости. Теплообмен в узких глухих каналах	2
13	Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи	Тема 4.3. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества	Теплоотдача при кипении.	2
14	Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи	Тема 4.3. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества	Теплоотдача при конденсации.	2
15	Лучистый теплообмен	Тема 5.1. Описание процесса и основные определения	Классификация излучения по длинам волн. Коэффициент поглощения, отражения, пропускания. Абсолютно черное, белое, прозрачное тело. Эффективное излучение. Закон Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа. Степень черноты тела.	2
16	Лучистый теплообмен	Тема 5.2. Теплообмен излучением системы тел в прозрачной среде	Определение теплового потока и плотности теплового потока между телами. Приведенная степень черноты. Коэффициент облученности тела.	2
			Итого за семестр:	**32**
6 семестр				
17	Лучистый теплообмен	Тема 5.3. Использование экранов для защиты от излучения	Оценка эффективности экрана. Основные расчетные зависимости.	2
18	Лучистый теплообмен	Тема 5.4. Особенности излучения газов и паров	Излучение CO_2 и паров H_2O. Определение степени черноты газа.	2
19	Теплопередача	Тема 6.1. Сложный теплообмен	Конвективная и лучистая составляющие суммарного коэффициента теплоотдачи.	2
20	Теплопередача	Тема 6.2. Теплопередача между двумя жидкостями через разделяющую стенку	Уравнение теплопередачи. Термическое сопротивление теплоотдачи и теплопередачи. Коэффициент теплопередачи для плоской и цилиндрической стенки.	2
21	Теплопередача	Тема 6.3. Интенсификация теплопередачи	Способы увеличения теплового потока. Коэффициент оребрения.	2
22	Теплопередача	Тема 6.4. Тепловая изоляция	Теплоизоляторы. Выбор теплоизолятора для трубопровода. Критический диаметр тепловой изоляции.	2

23	Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	Тема 7.1. Типы теплообменных аппаратов. Тема 7.2. Расчетные уравнения	Использование различных типов теплообменных аппаратов на практике. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Среднелогарифмический температурный напор. Водяной эквивалент.	2
24	Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	Тема 7.1. Типы теплообменных аппаратов. Тема 7.2. Расчетные уравнения	Использование различных типов теплообменных аппаратов на практике. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Среднелогарифмический температурный напор. Водяной эквивалент.	2
25	Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	Тема 7.1. Типы теплообменных аппаратов. Тема 7.2. Расчетные уравнения	Использование различных типов теплообменных аппаратов на практике. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Среднелогарифмический температурный напор. Водяной эквивалент.	2
26	Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	Тема 7.1. Типы теплообменных аппаратов. Тема 7.2. Расчетные уравнения	Использование различных типов теплообменных аппаратов на практике. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Среднелогарифмический температурный напор. Водяной эквивалент.	2
27	Теплопроводность при нестационарном режиме	Тема 8.1. Дифференциальные уравнения нестационарной теплопроводности	Уравнения в прямоугольных и цилиндрических координатах. Граничные условия 1, 2, 3 рода. Условие сопряжения. Критерий Био.	2
28	Теплопроводность при нестационарном режиме	Тема 8.1. Дифференциальные уравнения нестационарной теплопроводности. Тема 8.2. Нагревание и охлаждение плоской (цилиндрической) стенки	Уравнения в прямоугольных и цилиндрических координатах. Граничные условия 1, 2, 3 рода. Условие сопряжения. Критерий Био. Математическая постановка задачи в размерном и безразмерном виде. Методы решения поставленной задачи – метод конечных разностей, метод разделения переменных.	2
29	Теплопроводность при нестационарном режиме	Тема 8.1. Дифференциальные уравнения нестационарной теплопроводности. Тема 8.2. Нагревание и охлаждение плоской (цилиндрической) стенки	Уравнения в прямоугольных и цилиндрических координатах. Граничные условия 1, 2, 3 рода. Условие сопряжения. Критерий Био. Математическая постановка задачи в размерном и безразмерном виде. Методы решения поставленной задачи – метод конечных разностей, метод разделения переменных.	2

30	Основы теории массообмена	Тема 9.1. Общие понятия и определения. Тема 9.2. Уравнение массообмена для бинарной смеси. Тема 9.3. Аналогия тепло-имассообмена	Диффузия. Поток массы. Коэффициент диффузии. Закон Фика. Термодиффузия. Дифференциальное уравнение массообмена. Второй закон Фика. Критерий Стантона. Параметр проницаемости.	2
31	Основы теории массообмена	Тема 9.1. Общие понятия и определения. Тема 9.2. Уравнение массообмена для бинарной смеси. Тема 9.3. Аналогия тепло-имассообмена	Диффузия. Поток массы. Коэффициент диффузии. Закон Фика. Термодиффузия. Дифференциальное уравнение массообмена. Второй закон Фика. Критерий Стантона. Параметр проницаемости.	2
32	Основы теории массообмена	Тема 9.1. Общие понятия и определения. Тема 9.2. Уравнение массообмена для бинарной смеси. Тема 9.3. Аналогия тепло-имассообмена	Диффузия. Поток массы. Коэффициент диффузии. Закон Фика. Термодиффузия. Дифференциальное уравнение массообмена. Второй закон Фика. Критерий Стантона. Параметр проницаемости.	2
			Итого за семестр:	**32**
			Итого:	**64**

4.4. Содержание самостоятельной работы

Наименование раздела	**Вид самостоятельной работы**	**Содержание самостоятельной работы** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов**
5 семестр			
Основные понятия и определения	выполнение расчетно-графических работ	Тема 1.1. Способы передачи теплоты Тема 1.2. Количественные характеристики переноса теплоты	2
Основные понятия и определения	подготовка к экзамену	Тема 1.1. Способы передачи теплоты Тема 1.2. Количественные характеристики переноса теплоты	4
Теплопроводность	подготовка к лабораторным работам, выполнение соответствующих заданий	Тема 2.1. Основной закон теплопроводности Тема 2.2. Коэффициент теплопроводности Тема 2.3. Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режиме	2
Теплопроводность	подготовка к экзамену	Тема 2.1. Основной закон теплопроводности Тема 2.2. Коэффициент теплопроводности Тема 2.3. Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режиме	3

Теплопроводность	выполнение расчетно-графических работ	Тема 2.1. Основной закон теплопроводности Тема 2.2. Коэффициент теплопроводности Тема 2.3. Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режиме	3
Конвективный теплообмен (теплоотдача)	подготовка к лабораторным работам, выполнение соответствующих заданий	Тема 3.1. Основной закон конвективного теплообмена Тема 3.3. Определяющий размер, определяющая температура Тема 3.4. Пограничный слой Тема 3.5. Понятие о методе анализа размерностей и теории подобия	2
Конвективный теплообмен (теплоотдача)	подготовка к экзамену	Тема 3.1. Основной закон конвективного теплообмена. Тема 3.2. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Тема 3.3. Определяющий размер, определяющая температура. Тема 3.4. Пограничный слой. Тема 3.5. Понятие о методе анализа размерностей и теории подобия.	4
Конвективный теплообмен (теплоотдача)	выполнение расчетно-графических работ	Тема 3.1. Основной закон конвективного теплообмена Тема 3.3. Определяющий размер, определяющая температура Тема 3.4. Пограничный слой Тема 3.5. Понятие о методе анализа размерностей и теории подобия	2
Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи	подготовка к экзамену	Тема 4.1. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя Тема 4.2. Теплоотдача при естественной конвекции Тема 4.3. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества	3
Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи	выполнение расчетно-графических работ	Тема 4.1. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя Тема 4.2. Теплоотдача при естественной конвекции Тема 4.3. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества	3
Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи	подготовка к лабораторным работам, выполнение соответствующих заданий	Тема 4.1. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя Тема 4.2. Теплоотдача при естественной конвекции Тема 4.3. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества	1
Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	подготовка к лабораторным работам, выполнение соответствующих заданий	Тема 7.1. Типы теплообменных аппаратов. Тема 7.2. Расчетные уравнения	1
		Итого за семестр:	**30**
6 семестр			

Лучистый теплообмен	подготовка к экзамену	Тема 5.1. Тепловое излучение. Описание процесса и основные определения. Тема 5.2. Теплообмен излучением системы тел в прозрачной среде. Тема 5.3. Использование экранов для защиты от излучения. Тема 5.4. Особенности излучения газов и паров	4
Лучистый теплообмен	выполнение расчетно-графических работ	Тема 5.1. Тепловое излучение. Описание процесса и основные определения. Тема 5.2. Теплообмен излучением системы тел в прозрачной среде. Тема 5.3. Использование экранов для защиты от излучения. Тема 5.4. Особенности излучения газов и паров	4
Теплопередача	подготовка к экзамену	Тема 6.1. Сложный теплообмен. Тема 6.2. Теплопередача между двумя жидкостями через разделяющую стенку. Тема 6.3. Интенсификация теплопередачи. Тема 6.4. Тепловая изоляция.	4
Теплопередача	выполнение расчетно-графических работ	Тема 6.1. Сложный теплообмен. Тема 6.2. Теплопередача между двумя жидкостями через разделяющую стенку. Тема 6.3. Интенсификация теплопередачи. Тема 6.4. Тепловая изоляция.	4
Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	подготовка к экзамену	Тема 7.1. Типы теплообменных аппаратов. Тема 7.2. Расчетные уравнения.	2
Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	выполнение расчетно-графических работ	Тема 7.1. Типы теплообменных аппаратов. Тема 7.2. Расчетные уравнения.	2
Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	выполнение курсовых работ	Тема 7.1. Типы теплообменных аппаратов. Тема 7.2. Расчетные уравнения.	14
Теплопроводность при нестационарном режиме	подготовка к экзамену	Тема 8.1. Дифференциальные уравнения нестационарной теплопроводности. Тема 8.2. Нагревание и охлаждение плоской (цилиндрической) стенки	2
Основы теории массообмена	подготовка к экзамену	Тема 9.1. Общие понятия и определения. Тема 9.2. Уравнение массообмена для бинарной смеси. Тема 9.3. Аналогия тепло-имассообмена	4
		Итого за семестр:	**40**
		Итого:	**70**

5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю)

№ п/п	Библиографическое описание	Ресурс НТБ СамГТУ (ЭБС СамГТУ, IPRbooks и т.д.)
Основная литература		
1	Исаченко, В.П. Теплопередача : учеб. / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел .- 5-е изд., стер..- Чебоксары, ООО"ТИД"Арис", 2014.- 417 с.	Книжный фонд
2	Краснощеков, Е.А. Задачник по теплопередаче : учебник / Е.А.Краснощеков,А.С.Сукомел .- 2-е изд.,перераб.и доп..- М., Энергия, 1969.- 264 с.	Книжный фонд
3	Теплотехника : Учеб. / А. П. Баскаков [и др.] ; ред. А. П. Баскаков.- М., Энергоиздат, 1982.- 264 с.	Книжный фонд
Дополнительная литература		
4	Ерохин, В.Г. Основы термодинамики и теплотехники : учеб. / В. Г. Ерохин, М. Г. Маханько .- 2-е изд..- М., ЛИБРОКОМ, 2009.- 224 с.	Книжный фонд
5	Ерохин, В.Г. Сборник задач по основам теплотехники и гидравлики / В. Г. Ерохин, М. Г. Маханько.- М., Энергия, 1972.- 176 с.	Книжный фонд
6	Кудинов, А.А. Тепломассообмен : учеб. пособие / А. А. Кудинов.- М., Инфра-М, 2018.- 374 с.	Книжный фонд

Доступ обучающихся к ЭР НТБ СамГТУ (elib.samgtu.ru) осуществляется посредством электронной информационной образовательной среды университета и сайта НТБ СамГТУ по логину и паролю.

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения

При проведении лекционных занятий используется мультимедийное оборудование.

Организовано взаимодействие обучающегося и преподавателя с использованием электронной ин-формационной образовательной среды университета.

№ п/п	Наименование	Производитель	Способ распространения
1	Microsoft Windows	Microsoft (Зарубежный)	Лицензионное

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование	Краткое описание	Режим доступа
1	Электронная библиотека изданий СамГТУ	http://irbis.samgtu.local/cgi-bin/irbis64r_01/cgiirbis_64.exe	Российские базы данных ограниченного доступа

2	Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/	Российские базы данных ограниченного доступа
3	eLIBRARY.ru	http://www.eLIBRARY.ru/	Российские базы данных ограниченного доступа

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Лекционные занятия

Аудитории для лекционных занятий (ауд.50 6 корпуса) укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации (наборы демонстрационного оборудования - проектор, экран, компьютер, ноутбук), учебно-наглядные, учебно-методические пособия, тематические иллюстрации.

Практические занятия

Аудитории для практических занятий укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации (наборы демонстрационного оборудования - проектор, экран, компьютер, ноутбук), учебно-наглядные, учебно-методические пособия.

Лабораторные занятия

Для лабораторных занятий используется аудитория 29 (6 корп.), оснащенная следующим оборудованием: пять установок для проведения натурных испытаний, два компьютера с доступом в сеть "Интернет" и возможностью проведения работ в имитационном режиме.

Самостоятельная работа

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и доступом к информационно-образовательной среде СамГТУ; читальный зал библиотеки СамГТУ; информационно-вычислительный центр ТЭФ (48 аудитория 6 корпуса).

9. Методические материалы

Методические рекомендации при работе на лекции

До лекции студент должен просмотреть учебно-методическую и научную литературу по теме лекции с тем, чтобы иметь представление о проблемах, которые будут разбираться в лекции.

Перед началом лекции обучающимся сообщается тема лекции, план, вопросы, подлежащие рассмотрению, доводятся основные литературные источники. Весь учебный материал, сообщаемый преподавателем, должен не просто прослушиваться. Он должен быть активно воспринят, т.е. услышан, осмыслен, понят, зафиксирован на бумаге и закреплен в памяти. Приступая к слушанию нового учебного материала, полезно мысленно установить его связь с ранее изученным. Следя за техникой чтения лекции (акцент на существенном, повышение тона, изменение ритма, пауза и т.п.), необходимо вслед за преподавателем уметь выделять основные категории, законы и определять их содержание, проблемы, предполагать их возможные решения, доказательства и выводы. Осуществляя такую работу, можно значительно облегчить себе понимание учебного материала, его конспектирование и дальнейшее изучение.

Конспектирование лекции позволяет обработать, систематизировать и лучше сохранить полученную информацию с тем, чтобы в будущем можно было восстановить в памяти основные, содержательные моменты. Типичная ошибка, совершаемая обучающимся, дословное конспектирование речи преподавателя. Как правило, при записи «слово в слово» не остается времени на обдумывание, анализ и синтез информации. Отбирая нужную информацию, главные мысли, проблемы, решения и выводы, необходимо сокращать текст, строить его таким образом, чтобы потом можно было легко в нем разобраться. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых можно будет делать пометки

из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. С окончанием лекции работа над конспектом не может считаться завершенной. Нужно еще восстановить отдельные места, проверить, все ли понятно, уточнить что-то на консультации и т.п. с тем, чтобы конспект мог быть использован в процессе подготовки к практическим занятиям, зачету, экзамену. Конспект лекции – незаменимый учебный документ, необходимый для самостоятельной работы.

Методические рекомендации при подготовке и работе на практическом занятии

Практические занятия по дисциплине проводятся в целях выработки практических умений и приобретения навыков в решении профессиональных задач.

Рекомендуется следующая схема подготовки к практическому занятию:

1. ознакомление с планом практического занятия, который отражает содержание предложенной темы;
2. проработка конспекта лекции;
3. чтение рекомендованной литературы;
4. подготовка ответов на вопросы плана практического занятия;
5. выполнение тестовых заданий, задач и др.

Подготовка обучающегося к практическому занятию производится по вопросам, разработанным для каждой темы практических занятий и (или) лекций. В процессе подготовки к практическим занятиям, необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы.

Работа студентов во время практического занятия осуществляется на основе заданий, которые выдаются обучающимся в начале или во время занятия. На практических занятиях приветствуется активное участие в обсуждении конкретных ситуаций, способность на основе полученных знаний находить наиболее эффективные решения поставленных проблем, уметь находить полезный дополнительный материал по тематике занятий. Обучающимся необходимо обращать внимание на основные понятия, алгоритмы, определять практическую значимость рассматриваемых вопросов. На практических занятиях обучающиеся должны уметь выполнить расчет по заданным параметрам или выработать определенные решения по обозначенной проблеме. Задания могут быть групповые и индивидуальные. В зависимости от сложности предлагаемых заданий, целей занятия, общей подготовки обучающихся преподаватель может подсказать обучающимся алгоритм решения или первое действие, или указать общее направление рассуждений. Полученные результаты обсуждаются с позиций их адекватности или эффективности в рассмотренной ситуации.

Методические рекомендации при работе на лабораторном занятии

Проведение лабораторной работы делится на две условные части: теоретическую и практическую.

Необходимыми структурными элементами занятия являются проведение лабораторной работы, проверка усвоенного материала, включающая обсуждение теоретических основ выполняемой работы.

Перед лабораторной работой, как правило, проводится технико-теоретический инструктаж по использованию необходимого оборудования. Преподаватель корректирует деятельность обучающегося в процессе выполнения работы (при необходимости). После завершения лабораторной работы подводятся итоги, обсуждаются результаты деятельности.

Возможны следующие формы организации лабораторных работ: фронтальная, групповая и индивидуальная. При фронтальной форме выполняется одна и та же работа (при этом возможны различные варианты заданий). При групповой форме работа выполняется группой (командой). При индивидуальной форме обучающимися выполняются индивидуальные работы.

По каждой лабораторной работе имеются методические указания по их выполнению, включающие необходимый теоретический и практический материал, содержащие элементы и последовательную инструкцию по проведению выбранной работы, индивидуальные варианты заданий, требования и форму отчётности по данной работе.

Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы обучающихся ориентируется на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей, переход от поточного к индивидуализированному обучению с учетом потребностей и возможностей обучающегося.

Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала. Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса.

Самостоятельная работа реализуется:

- непосредственно в процессе аудиторных занятий;
- на лекциях, практических занятиях;
- в контакте с преподавателем вне рамок расписания;
- на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.;
- в библиотеке, дома, на кафедре при выполнении обучающимся учебных и практических задач.

Эффективным средством осуществления обучающимся самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), практик, к изданиям электронных библиотечных систем.

10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств представлен в приложении № 1.

Приложение 1 к рабочей программе дисциплины
Б1.О.03.02 «Тепломассообмен»

Фонд оценочных средств
по дисциплине
Б1.О.03.02 «Тепломассообмен»

Код и направление подготовки (специальность)	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Направленность (профиль)	Тепловые электрические станции
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Теплоэнергетический факультет
Выпускающая кафедра	кафедра "Тепловые электрические станции"
Кафедра-разработчик	кафедра "Теоретические основы теплотехники и гидромеханика"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	252 / 7
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Общепрофессиональные компетенции			
Теоретическая профессиональная подготовка	ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ОПК-4.1 Знать основные способы получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	Знать основные способы получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах
		ОПК-4.2 Уметь выполнять расчёты теплотехнических установок и систем	Уметь выполнять расчёты теплотехнических установок и систем
		ОПК-4.3 Владеть навыками применения основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	Владеть навыками применения основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

Матрица соответствия оценочных средств запланированным результатам

Код и индикатор достижения компетенции	Разделы														
	1		2			3			4			5		6	
	Выполнение расчетно-графической работы	Вопросы к экзамену	Отчет по лабораторной работе	Выполнение расчетно-графической работы	Вопросы к экзамену	Отчет по лабораторной работе	Выполнение расчетно-графической работы	Вопросы к экзамену	Отчет по лабораторной работе	Выполнение расчетно-графической работы	Вопросы к экзамену	Выполнение расчетно-графической работы	Вопросы к экзамену	Выполнение расчетно-графической работы	Вопросы к экзамену
З2 ОПК-4.1.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
У2 ОПК-4.2.	+		+	+		+	+		+	+		+		+	
В2 ОПК-4.3	+		+	+		+	+		+	+		+		+	

2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций в ходе освоения образовательной программы

2.1. Формы текущего контроля успеваемости

Текущая аттестация студента по дисциплине производится лектором в устанавливаемые учебным управлением сроки 4 раза в одном семестре. При проставлении 1-4-й контрольных точек в 5-м и 6-м семестрах учитываются посещения студентом лекций, лабораторных и практических занятий, а также результаты его работы на лабораторных занятиях (в 5 семестре) и выполнение студентом расчетно-графических работ (в 5 и 6 семестре). При проведении текущей аттестации в систему сопровождения обучения в рамках проведения контрольного занятия выставляется оценка по пятибалльной шкале.

Типовые примеры заданий на расчетно-графическую работу (РГР)

Для РГР №1

Вопросы:

5 .Укажите основные способы и приведите примеры графического изображения температурного поля.

16. Как определяются частные термические сопротивления стенки и теплоотдающей поверхности в случаях плоской и цилиндрической стенок? Приведите размерности.

27. Почему в водовоздушном теплообмене оребрение осуществляют со стороны воздушного потока?

38. Какие известны способы задания граничных условий для дифференциального уравнения теплопроводности?

49. Что такое регулярный режим?

Задачи:

5. Трубопровод диаметром 140/152 мм покрыт слоем теплоизоляции толщиной 100 мм (λтр=37 Вт/(м*гр) и λиз=0,1 Вт/(м*гр)). Температура внутренней поверхности паропровода 450^{o}С, наружной поверхности изоляции 50^{o}С. Определить тепловые потери с одного погонного метра паропровода и температуру на границе соприкосновения паропровода и изоляции. Температурное поле представить графически.

16. Определить толщину обмуровки котла, если температура газов 800^{o}С, температура окружающей среды 20^{o}С, эквивалентный коэффициент теплопроводности обмуровки 0,8 Вт/(м*гр), коэффициенты теплоотдачи от газа к стенке и от стенки к окружающей среде равны соответственно 60 и 15 Вт/(м^{2}*гр). Температура наружной поверхности обмуровки не должна превышать 55 ^{o}С.

27. Определить суточные тепловые потери теплопровода на участке длиной 100 м, проложенного в грунте на глубине 1500 мм. Диаметр трубы 100 мм; изоляция толщиной 75 мм с коэффициентом теплопроводности 0,1 ^{o}С коэффициент теплопроводности грунта 0,9 Вт/(м*гр); температура грунта +5^{o}С, температура стенки трубы 105^{o}С. Теплообменом на поверхности грунта пренебречь.

38. Изоляция плоской стенки с температурой 650^{o}С выполнена из вермикулита, коэффициент теплопроводности которого зависит от температуры и равен (0,072+0,00026*t) Вт/(м*гр). Температура наружной поверхности слоя изоляции 50^{o}С. Определить температуру в середине слоя. Температурное поле представить графически.

49. Теплопроводность материала плоской пластины зависит от координаты $\lambda=\lambda_0(1+к x)$. Определить температурное поле в пластине T=T(x) и плотность теплового потока через нее для стационарной задачи, если граничные условия следующие: при x=0 $T=T_1$, при x=δ $T=T_2$.

Для РГР №2

Вопросы:

5 .Сформулируйте условия однозначности конвективного теплообмена.

16. Что такое пленочный режим свободной конвекции? Укажите условия его возникновения.

27. Как влияет изменение диаметра трубы на величину коэффициента теплоотдачи при турбулентном внешнем потоке поперек трубы?

38. Опишите механизм процесса кипения. Перечислите физические свойства жидкости, влияющие на величину теплоотдачи при кипении.

49. Что такое эффективное излучение тела?

Задачи:

5. В трубе (образце) движется водяной пар давлением 6 бар и температурой 250°С. Скорость движения пара 25 м/сек. Чему должна быть равна скорость воды в гидродинамической модели, размеры которой составляют 1/10 от размеров образца? Температура воды 20°С.

16. Две трубы, имеющие одинаковую длину и одинаковые температуры поверхностей, охлаждаются снаружи свободным потоком воздуха. Диаметр одной трубы в 10 раз превышает диаметр другой. Критерий Gr*Pr для большой трубы равен 10^7. Определить отношение коэффициентов теплоотдачи α_1/α_2 и отношение потерь тепла Q_1/Q_2 для этих труб.

27. Вычислить коэффициент теплоотдачи для воды, подогреваемой в трубчатом теплообменнике, состоящем из труб 40х2,5 мм. Вода идет по трубам со скоростью 1,5 м/сек и подогревается от 15 до 80 °С. Температура стенки трубы 95 °С; длина трубы более 2 м.

38. При каком отношении диаметра трубки к ее длине теплоотдача при пленочной конденсации водяного пара на одиночных горизонтальной и вертикальной трубках будет одинаковой?

49. В сосуде кипит вода под давлением 0,2 МПа. Режим кипения пузырьковый. Чему равна плотность теплового потока на поверхности нагрева, если температура стенки сосуда 135 °С?

Для РГР №3

Вопросы:

5 .Возможен ли при течении теплоносителей вдоль теплообменной поверхности противоточного теплообменника случай конвективной теплоотдачи, характеризуемый тепловым режимом стенки $q_{ст}$=const?

16. Сформулируйте закон Кирхгофа. При каком условии степень черноты и коэффициент поглощения реального тела всегда равны?

27. Укажите различие между местными и средними угловыми коэффициентами излучения. Перечислите способы их определения.

38. Изобразите график распределения температуры вдоль поверхности теплообмена при нагревании воды: а) насыщенным паром; б) газом, у которого G*Cp<< (G*Cp) воды.

49. Как зависит мощность на валу насоса или вентилятора, проталкивающего жидкость через теплообменник, от скорости потока в теплообменнике?

Задачи:

5. В контуре атомного реактора поверхность нагрева теплообменного устройства выполнена из труб с внутренним диаметром 12 мм и длиной 2,4 м. Внутри труб протекает натрий со средней скоростью 2 м/сек. Средняя температура натрия 300 оС; его коэффициент теплопроводности при этой температуре равен 70,9 Вт/(м*гр), кинематический коэффициент вязкости – $39{,}4*10^{-8}$ $м^2$/сек, плотность 878 $кг/м^3$ и удельная теплоемкость 1281 Дж/(кг*гр). Определить коэффициент теплоотдачи от натрия к стенке трубы.

16. Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной интенсивности излучения солнца, если его излучение подобно излучению «абсолютно черного» тела с температурой 6000 °С. Установить цвет излучения, соответствующего этой длине волны.

27. Дымовые газы при входе в цилиндрический газоход имеют температуру 830 °С, при выходе 700 °С. Давление газов 1 бар. Средняя температура поверхности газохода 500 °С, степень черноты поверхности 0,75. Дымовые газы по объему содержат 11% углекислоты и 8% водяного пара. Определить количество тепла, передаваемого лучеиспусканием от газов к 1 $м^2$ поверхности газохода. Диаметр газохода 0,8 м.

38. В теплообменнике сухой насыщенный водяной пар давлением 5 бар конденсируется на внешней поверхности труб. Вода, движущаяся по трубам, нагревается от 20 до 70 °С. Определить среднелогарифмический температурный напор.

49. По трубе с диаметром 10 мм протекает масло МК с расходом 120кг/ч. Температура масла на входе 80 °С, на выходе 76 °С. Температура стенки 30 °С. Найти длину трубы.

Таблица вариантов

Номер варианта	Номера задач и вопросов	Номер варианта	Номера задач и вопросов
1	1, 11, 22, 33, 44	26	8, 15, 22, 35, 42
2	2, 13, 24, 35, 46	27	9, 16, 23, 36, 49
3	3, 14, 25, 36, 47	28	10, 17, 24, 31, 44
4	4, 15, 26, 37, 48	29	1, 14, 21, 34, 47
5	5, 16, 27, 38, 49	30	2, 15, 22, 35, 48
6	6, 17, 28, 39, 50	31	3, 18, 24, 38, 44
7	7, 18, 29, 40, 49	32	5, 19, 25, 39, 45
8	8, 19, 30, 39, 48	33	6, 20, 26, 32, 46
9	9, 20, 29, 38, 47	34	7, 13, 27, 33, 47
10	10, 19, 28, 37, 46	35	8, 14, 28, 34, 48
11	2, 14, 26, 38, 50	36	9, 15, 29, 35, 49

12	3, 15, 27, 39, 47	37	10, 16, 30, 36, 50
13	4, 16, 28, 40, 48	38	1, 15, 21, 36, 42
14	5, 17, 29, 37, 41	39	2, 11, 23, 32, 41
15	6, 18, 30, 38, 42	40	3, 12, 22, 31, 43
16	7, 19, 27, 31, 43	41	10, 12, 27, 32, 47
17	8, 20,28, 32, 44	42	9, 13, 28, 33, 48
18	9, 11, 21, 33, 45	43	8, 14, 29, 34, 49
19	10, 12, 22, 34, 46	44	7, 15, 30, 35, 50
20	1, 13, 25, 37, 49	45	6, 16, 21, 36, 41
21	3, 16, 29, 36, 43	46	1, 17, 22, 37, 42
22	4, 17, 30, 37, 44	47	2, 18, 23, 38, 43
23	5, 18, 25, 32, 45	48	3, 19, 24, 39, 44
24	6, 19, 26, 33, 46	49	4, 20, 25, 40, 45
25	7, 20, 27, 34, 41	50	5, 11, 26, 31, 46

2.2. Формы промежуточной аттестации

На этапе промежуточной аттестации - выполнение и защита курсовой работы (в 6 семестре) и экзамен (в 5 и 6 семестре).

Типовой пример задания на курсовую работу

Выполнить поверочный расчет теплообменного аппарата типа «труба в трубе», схема которого показана на рис.1. Теплообменный аппарат состоит из двух соосно расположенных круглых цилиндрических труб с наружной теплоизоляцией.

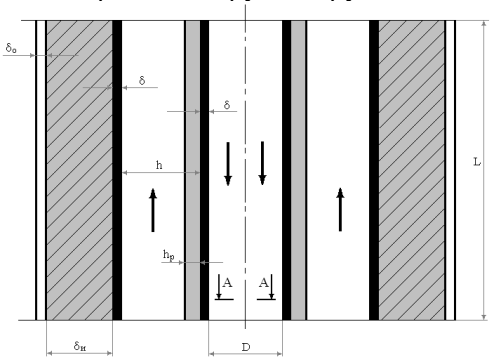

Рис.1. Схема теплообменника

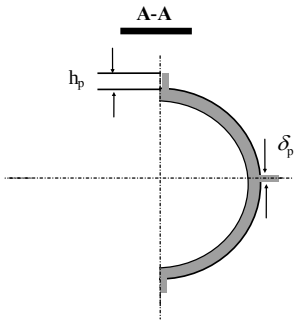

Рис.2. Схема оребрения

Внутренняя труба снабжена продольными ребрами с наружной стороны. В щелевом пространстве между трубами движется воздух. По внутренней трубе снизу вверх движутся газообразные продукты сгорания органического топлива.

Воздух в теплообменнике нагревается, продукты сгорания охлаждаются. Задан состав продуктов сгорания (объемные доли трехатомных газов и азота – r_{CO_2}, r_{H_2O}, r_{N_2}), направление движения теплоносителей (прямоток или противоток), температура теплоносителей на входе ($T_{г0}$, $T_{в0}$), массовый расход продуктов сгорания и воздуха ($G_г$, $G_в$), все геометрические (конструктивные) характеристики элементов теплообменника:

- длина L,
- диаметр внутреннего цилиндра D,
- ширина щелевого пространства для прохода воздуха h,
- толщина слоя теплоизоляции $\delta_и$,
- толщина стенки теплообменника δ,
- толщина стенки наружной металлической обшивки $\delta_о$,
- высота ребра $h_р$,
- толщина ребра $\delta_р$,
- количество ребер n.

Теплообменник ориентирован вертикально. Окружающая среда - воздух.

Целью поверочного расчета является определение температуры теплоносителей на выходе из теплообменного аппарата и расчет составляющих теплового баланса.

В результате расчета требуется:

1) определить конечную температуру воздуха и продуктов сгорания;
2) определить среднюю температуру стенки внутреннего цилиндра;
3) определить эффективность оребрения;
4) определить среднюю плотность теплового потока через стенку внутреннего цилиндра;
5) определить средние температуры слоев наружной стенки;
6) определить среднюю плотность теплового потока и тепловой поток через теплоизоляцию в окружающую среду;
7) определить максимальную температуру внутренней стенки;
8) определить максимальную температуру слоев наружной стенки;
9) построить графики изменения температур теплоносителей по высоте теплообменника;
10) построить график изменения температуры по высоте ребра;
11) построить график изменения температуры по толщине внутренней стенки;
12) построить график изменения температуры по толщине наружной стенки теплообменника (внутренний стальной цилиндр, теплоизоляция, наружная обшивка).

Методические указания по выполнению курсовой работы

Содержанием курсовой работы по тепломассообмену является поверочный расчет теплообменного аппарата рекуперативного типа с различными схемами движения теплоносителей и свойствами рабочих сред. В предлагаемом к расчету теплообменном аппарате имеют место все три вида теплопереноса: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение. В процессе расчета студент должен использовать основные теоретические и эмпирические результаты и расчетные соотношения, характерные для этих видов теплопереноса.

В результате выполнения работы студент должен научиться выполнять тепловой расчет теплообменного аппарата рекуперативного типа, в том числе:

- рассчитывать теплоотдачу при вынужденной конвекции газа в каналах круглого и некруглого сечения;
- рассчитывать теплоотдачу излучением между газом и стенкой;
- рассчитывать теплоотдачу при свободной конвекции газа в неограниченном пространстве;
- рассчитывать теплопередачу через одно- и многослойные стенки;
- рассчитывать теплопередачу через оребренную стенку.

Курсовая работа выполняется в течение 6–го (весеннего) семестра. Отчет о выполнении и защита курсовой работы представляются преподавателю за неделю до начала сессии. Студенты, не сдавшие курсовую работу, к экзамену по тепломассообмену не допускаются. По курсовой работе выставляется оценка.

Исходные данные для курсовой работы

Основные данные, характеризующие условия работы теплообменника и необходимые для проведения расчетов, приведены ниже в табл. 3.1 – 3.4.

Состав продуктов сгорания

Таблица 3.1

Номер варианта	Объемные доли, %		
	CO_2	H_2O	N_2
1-5	10	7	83
6-10	12	9	79
11-15	14	11	75
16-20	16	13	71
21-25	18	15	67

Схема движения теплоносителей

Таблица 3.2

Номер варианта	Наименование схемы
1-6, 12-18	Противоток
7-11, 19-25	Прямоток

Предполагается, что теплообменник изготовлен из следующих материалов: стенки теплообменника - сталь хромоникелевая *1Х18Н9Т*, теплоизоляция — стекловата, наружная обшивка - алюминий. Характеристика стали, приведена в табл. 3.5. Теплофизические характеристики материалов приведены в табл. 3.6.

Окружающая среда - воздух с температурой $T_{окр}$=300К и давлением $p_{окр}$=0,1МПа. Дополнительная справочная информация содержится в [1-8].

Геометрические характеристики

Таблица 3.3

№ вар	L, мм	D, мм	h, мм	δ, мм	$h_р$, мм	$\delta_р$, мм	$\delta_и$, мм	$\delta_о$, мм	n
1	1000	100	10	3	4	2	50	4	4
2	1100	150	12	3	5	2	55	4	5
3	1200	200	14	3	6	2	60	4	6
4	1300	250	16	3	7	2	65	4	7
5	1400	300	18	3	8	2	70	4	8
6	1500	350	20	3	9	2	75	4	9
7	1600	400	22	3	10	2	80	4	10
8	1700	450	24	3	11	3	85	4	11
9	1800	500	26	5	12	3	90	4	12
10	1900	550	28	5	13	3	95	4	13
11	2000	600	30	5	14	3	100	4	14
12	2100	650	32	5	15	3	105	4	15
13	2200	700	34	5	16	3	110	4	16
14	2300	750	36	5	17	3	115	4	17
15	2400	800	38	5	18	3	120	4	18
16	2500	850	40	5	19	3	125	4	19
17	2600	900	42	5	20	3	130	4	20
18	2700	950	44	7	21	4	135	4	21
19	2800	1000	46	7	22	4	140	4	22
20	2900	1050	48	7	23	4	145	4	23
21	3000	1100	50	7	24	4	150	4	24
22	3100	1150	52	7	25	4	155	4	25
23	3200	1200	54	7	26	4	160	4	26
24	3300	1250	56	7	27	4	165	4	27
25	3400	1300	58	7	28	4	170	4	28

Режимные параметры

Таблица 3.4

№ вар	Начальная температура, К		Массовый расход, кг/час	
	продуктов сгорания $T_{г0}$	воздуха $T_{в0}$	продуктов сгорания $G_{г0}$	воздуха $G_{в0}$
1-5	800	300	500	800
6-10	900	300	600	900
11-15	1000	300	700	1000
16-20	1100	300	800	1100
21-25	1200	300	900	1200

Характеристика стали [1]

Таблица 3.5

Химический состав, %							Температурный интервал использования, °С
C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Другие элементы	
0,14	0,7	1,2	17-20	-	8-11	Ti – 0,5	0-900

Теплофизические характеристики

Таблица 3.6

Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), при температуре, °С	Степень черноты при температуре, °С

	100	200	300	400	500	600	700	800	200-600
Сталь	16,0	17,6	19,2	20,8	22,3	23,8	25,5	27,6	0,79
Стекловата	0,04								-
Алюминий	240	238	234	228	215	-	-	-	0,09

Порядок выполнения курсовой работы

В теплообменнике, расчет которого требуется выполнить в данном задании, имеют место все три вида теплопереноса: теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообмен излучением. Теплообмен считается стационарным. Предполагают, что тепловые потоки через торцевые поверхности теплообменника пренебрежимо малы. Передача теплоты от продуктов сгорания к воздуху через оребренную стенку (внутреннюю стенку теплообменника) и наружную трехслойную стенку описывается основным уравнением теплопередачи. Движение газа и жидкости может быть вынужденным (вынужденная конвекция) и свободным (свободная конвекция). Характер физических процессов и расчетные формулы в этих двух случаях существенно различаются.

В данной работе считается, что во внутренних каналах теплообменника имеет место вынужденная конвекция, а на его наружной поверхности (со стороны окружающей среды) - свободная.

При описании теплоотдачи конвекцией от продуктов сгорания к стенке, от стенки к воздуху и от поверхности наружной обшивки в окружающую среду используются критериальные уравнения конвективного теплообмена. При описании теплообмена излучением между продуктами сгорания и стенкой теплообменника, поверхностью наружной обшивки и окружающей средой используется модель радиационного теплообмена между двумя бесконечно протяженными плоскими стенками, разделенными диатермичной средой.

Задача теплообмена при наличии различных механизмов теплопередачи формулируется, вообще говоря, в виде системы нелинейных алгебраических уравнений, для решения которой используется метод последовательных приближений (метод итераций).

Поэтому расчет рекомендуется выполнять методом последовательных приближений в следующем порядке.

1. Задаться температурой продуктов сгорания на выходе из теплообменника ($T_г''$), температурой воздуха на выходе из теплообменника ($T_в''$), температурой внутренней ($T_{вн}$), наружной стенки теплообменника ($T_{нар}$), средней температурой слоя теплоизоляции ($T_и$), температурой наружной поверхности обшивки ($T_о$) и величиной теплового потока в окружающую среду (тепловыми потерями) ($Q_п$). На первом шаге выполнения расчета задать $Q_п$=0.

2. По средней температуре продуктов сгорания $T_{г.ср}$=0,5($T_{г0}$+$T_г''$) и составу продуктов сгорания рассчитать теплофизические характеристики:

- удельную массовую теплоемкость $c_{р.г}$;
- плотность $\rho_г$,
- теплопроводность $\lambda_г$,
- кинематическую вязкость $\nu_г$,
- коэффициент температурного расширения $\beta_г$,
- степень черноты объема продуктов сгорания $\varepsilon_г$.

3. По средней температуре воздуха $T_{в.ср}$=0,5($T_{в0}$+$T_в''$) рассчитать теплофизические характеристики:

- удельную массовую теплоемкость $c_{р.в}$,
- плотность $\rho_в$,
- теплопроводность $\lambda_в$,
- кинематическую вязкость $\nu_в$.

Степень черноты воздушного объема ($\varepsilon_в$) полагается равной нулю (воздух - среда диатермичная).

4. По принятой величине средней температуры внутренней стенки теплообменника ($T_{вн}$) определить коэффициент теплопроводности стенки $\lambda_{вн}$, и степень черноты стенки $\varepsilon_{вн}$.

5. По принятой величине средней температуры наружной стенки теплообменника ($T_{нар}$) рассчитать коэффициент теплопроводности стенки $\lambda_{нар}$.

6. По принятой величине средней температуры теплоизоляции ($T_и$) рассчитать коэффициент теплопроводности теплоизоляции $\lambda_и$.

7. По принятой величине средней температуры обшивки ($T_о$) рассчитать коэффициент теплопроводности обшивки $\lambda_о$, и степень черноты стенки $\varepsilon_о$.

8. Рассчитать коэффициент теплоотдачи конвекцией от продуктов сгорания к стенке ($\alpha_{г.к}$), коэффициент теплоотдачи излучением ($\alpha_{г.л}$) и суммарный коэффициент теплоотдачи $\alpha_г$=$\alpha_{г.к}$+$\alpha_{г.л}$.

9. Рассчитать коэффициент эффективности ребра (E).

10. Рассчитать коэффициент теплоотдачи от оребренной стенки теплообменника к воздуху в щелевом пространстве ($\alpha_в'$).

11. Рассчитать коэффициент теплоотдачи от воздуха в щелевом пространстве к наружной стенке теплообменника ($\alpha_в''$).

12. Рассчитать коэффициент теплоотдачи конвекцией от наружной поверхности обшивки к окружающему воздуху ($\alpha_{окр.к}$), коэффициент теплоотдачи излучением от наружной поверхности обшивки в окружающую среду ($\alpha_{окр.л}$) и суммарный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{окр}=\alpha_{окр.к}+\alpha_{окр.л}$.

13. Рассчитать коэффициент теплопередачи через внутреннюю стенку теплообменника ($k_{вн}$).

14. Рассчитать коэффициент теплопередачи через наружную стенку теплообменника, теплоизоляцию и обшивку в окружающую среду ($k_{нар}$).

15. Рассчитать средний температурный напор через внутреннюю стенку теплообменника ($\Delta\overline{T}_{вн}$).

16. Рассчитать средний температурный напор через наружную стенку теплообменника, теплоизоляцию и обшивку ($\Delta\overline{T}_{нар}$).

17. Рассчитать тепловой поток через внутреннюю стенку теплообменника ($Q_{вн}$), линейную плотность теплового потока ($q_{вн}$) и среднюю температуру внутренней стенки ($T_{вн}$).

18. Рассчитать тепловой поток через наружную стенку теплообменника, теплоизоляцию и обшивку - тепловые потери ($Q_п$), линейную плотность теплового потока ($q_п$) и среднюю температуру наружной стенки теплообменника ($T_{нар}$), теплоизоляции ($T_и$) и наружной поверхности обшивки ($T_о$).

19. Рассчитать температуру продуктов сгорания на выходе из теплообменника ($T_г''$).

20. Рассчитать температуру воздуха на выходе из теплообменника ($T_в''$).

21. Оценить величину погрешности приближения ε.

22. Если величина ε превышает допустимое значение, повторить расчет п. 2.

23. Рассчитать температуру стенки внутреннего цилиндра в точках входа и выхода воздушного потока ($T_{вн}^{вх}$, $T_{вн}^{вых}$). Определить максимальную температуру стенки внутреннего цилиндра ($T_{вн}^{max}$), считая, что она достигается либо в точке входа, либо в точке выхода воздушного потока.

24. Рассчитать температуру всех слоев наружной стенки в точках входа и выхода воздушного потока ($T_{нар}^{вх}$, $T_и^{вх}$, $T_о^{вх}$, $T_{нар}^{вых}$, $T_и^{вых}$, $T_о^{вых}$). Определить максимальную температуру всех слоев наружной стенки ($T_{нар}^{max}$, $T_и^{max}$, $T_о^{max}$) считая, что она достигается либо в точке входа, либо в точке выхода воздушного потока.

25. Построить графики распределения температур теплоносителей по высоте теплообменника.

26. Построить график распределения температур по толщине внутренней стенки.

27. Построить график распределения температур по толщине наружной стенки теплообменника (внутренний стальной цилиндр, теплоизоляция, наружная обшивка).

В качестве предельно допустимой величины ε принять ε = 0,05.

Расчеты выполнять в системе СИ.

Оформление пояснительной записки

Титульный лист

Первая страница пояснительной записки (титульный лист) строится по образцу, показанному на рис.3.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

К а ф е д р а «Теоретические основы теплотехники и гидромеханика»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по курсу «ТЕПЛОМАССООБМЕН»

Вариант №…

Выполнил: студент гр.
Петров А.Н.
Проверил: канд.техн.наук., доц. каф.ТОТиГ
Габдушев Р.Ж.

Самара

Рис. 1. Образец выполнения титульного листа

Форма представления результатов расчета

Пояснительная записка оформляется на стандартных листах формата А4 (вертикальное расположение листов) и должна содержать следующие разделы:

- номер варианта и содержание задания;
- методика расчета - описание последовательности выполнения задания (необходимые пояснения, расчетные формулы, основные численные результаты);
- результаты расчетов в табличной форме;
- графики.

В пояснительной записке необходимо полностью привести результаты расчета последней итерации.

Результаты расчета

*Таблица*1

Теплофизические характеристики воздуха			
$C_{р,в}$, Дж/(кг·К)	$\rho_в$, кг/м^3	$\lambda_в$, Вт/(м·К)	$\nu_в$, м^2/с

Теплофизические характеристики продуктов сгорания					
$C_{р,г}$, Дж/(кг·К)	$\rho_г$, кг/м^3	$\lambda_г$, Вт/(м·К)	$\nu_г$, м^2/с	$\varepsilon_г$	$\beta_г$, К$^{-1}$

Температура							
Воздух		Продукты сгорания		Стенки			
$T_{в0}$	$T_в''$	$T_{г0}$	$T_г''$	$T_{вн}$	$T_{нар}$	$T_и$	$T_о$

Характеристики теплоотдачи								
Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К)								Эффективность оребрения
$\alpha_{г,к}$	$\alpha_{г,л}$	$\alpha_г$	$\alpha_в'$	$\alpha_в''$	$\alpha_{окр,к}$	$\alpha_{окр,л}$	$\alpha_{окр}$	E

Теплофизические характеристики материала стенок			
$\lambda_{вн}$, Вт/(м·К)	$\lambda_{нар}$, Вт/(м·К)	$\lambda_и$, Вт/(м·К)	$\lambda_о$, Вт/(м·К)

Характеристики теплопередачи									
Площадь поверхности теплообмена, м^2		Среднелогарифмический температурный напор, К		Линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К)		Тепловой поток, Вт		Линейная плотность теплового потока, Вт/м	
$F_{вн}$	$F_{нар}$	$\Delta\overline{T}_{вн}$	$\Delta\overline{T}_{нар}$	$k_{вн}$	$k_{нар}$	$Q_{вн}$	$Q_п$	$q_{вн}$	$q_п$

Примерный перечень вопросов к экзамену

5 семестр

1. Основные виды теплообмена.
2. Теплопроводность. Основные понятия.
3. Основной закон и уравнение теплопроводности.
4. Коэффициент теплопроводности. Физический смысл. Зависимость от температуры.
5. Дифференциальное уравнение теплопроводности в декартовых и цилиндрических координатах.
6. Коэффициент температуропроводности.
7. Условия однозначности для процессов теплопроводности.
8. Математическая постановка задачи теплопроводности.
9. Теплопроводность при стационарном режиме.
10. Теплопроводность через плоскую стенку при граничных условиях 1 рода.
11. Передача тепла через плоскую многослойную стенку.
12. Теплопроводность через цилиндрическую стенку при граничных условиях 1 рода.
13. Теплопроводность многослойной цилиндрической стенки.

14. Теплопроводность шаровой стенки.
15. Конвективный теплообмен. Процесс теплоотдачи. Естественная и вынужденная конвекции.
16. Закон Ньютон-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи.
17. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.
18. Условия однозначности для процессов конвективного теплообмена.
19. Гидродинамический и тепловой пограничные слои.
20. Методы подобия и размерности. Физическое подобие.
21. Теоремы подобия. Критерии подобия. Критериальные уравнения.
22. Определяющая температура. Определяющий размер.
23. Эмпирические формулы в критериальном виде.

6 семестр

24. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости. Течение жидкости в трубах и каналах.
25. Поперечное обтекание одиночной круглой трубы и пучка труб.
26. Теплообмен при больших скоростях потока.
27. Теплообмен при естественной конвекции.
28. Теплообмен при кипении жидкости.
29. Теплоотдача при конденсации пара.
30. Тепловое излучение. Основные понятия и определения.
31. Виды лучистых потоков. Законы теплового излучения.
32. Лучистый теплообмен между двумя телами.
33. Лучистый теплообмен между газом и его оболочкой.
34. Лучистый теплообмен между поверхностями, разделенными диатермичной средой.
35. Процессы сложного теплообмена и теплопередача.
36. Теплопередача через плоскую однослойную и многослойную стенку.
37. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку.
38. Критический и эффективный диаметр тепловой изоляции.
39. Пути интенсификации процесса теплопередачи.
40. Назначение и классификация теплообменных аппаратов.
41. Основы расчета теплообменных аппаратов. Основные уравнения расчета.
42. Схемы движения теплоносителей и характерные графики температур теплоносителей.
43. Сложный теплообмен.
44. Теплопроводность при нестационарном режиме.
45. Численные методы решения задач теплопроводности.
46. Массообмен. Закон Фика.

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

Министерство образования и науки РФ
«Самарский государственный технический университет»
Кафедра «Теоретические основы теплотехники и гидромеханика»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине **Тепломассообмен**

направление подготовки 130301Теплоэнергетика и теплотехника,

профиль

Экзаменационные вопросы

1. Теплопроводность через плоскую стенку при граничных условиях 1 рода.
2. Условия однозначности для процессов конвективного теплообмена.

Составил : доцент каф. ТОТиГ_____

Утверждаю: зав. кафедрой ТОТиГ_____В.А. Кудинов

Тесты по компетенциям

Дисциплина Б1.О.03.02 «Тепломассообмен»
(шифр и наименование дисциплины)

№ задания	Содержание задания	Ключ к ответу	Наименование темы в РПД	Семестр
ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах				
1.	**В каких случаях задаются граничные условия четвертого рода?** а) при теплообмене твердого тела с жидкостью б) при теплообмене конвекцией в) в точке контакта двух тел г) при теплообмене между газом и жидкостью	В	Основной закон конвективного теплообмена. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена	5
2.	**При каком из перечисленных видов теплообмена теплота передается с помощью электромагнитных волн?** а) при конвенции б) при турбулентном переносе в) при теплопроводности г) при излучении	Г	Способы передачи теплоты. Количественные характеристики переноса теплоты	5
3.	**Какой из перечисленных коэффициентов характеризует интенсивность теплообмена между стенкой и средой?** а) коэффициент температуропроводности б) коэффициент теплоотдачи в) коэффициент теплопередачи г) коэффициент теплопроводности	Б	Основной закон конвективного теплообмена.	5
4.	**В теплообменнике «труба в трубе» теплоносители движутся прямотоком. Водяные эквиваленты обоих теплоносителей одинаковы. Как изменяется температурный напор по длине теплообменника (за начало принять точку входа греющего теплоносителя)?** а) остается постоянным б) уменьшается в) увеличивается	Б	Типы теплообменных аппаратов.	6
5.	**Какой закон лучистого теплообмена определяет зависимость плотности интегрального полусферического излучения от температуры?** а) закон Стефана-Больцмана б) закон Планка в) закон Вина г) закон Кирхгофа	А	Тепловое излучение. Описание процесса и основные определения	6
6.	**Какое сопротивление процессу переноса теплоты от жидкого теплоносителя через стенку изолированной трубы является наибольшим?** а) сопротивление теплоотдачи от жидкости к стенке б) сопротивление металлической стенки в) сопротивление слоя изоляции г) сопротивление теплоотдачи от изоляции в окружающую среду	В	Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режим	5
7.	**В каком случае можно ожидать наиболее высокие значения коэффициента теплоотдачи?** а) газ, свободная конвекция б) кипение и конденсация в) капельная жидкость, вынужденная конвекция	Б	Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя. Теплоотдача при естественной конвекции	5

	г) капельная жидкость, свободная конвекция			
8.	**Какой линией описывается температурное поле в плоской стенке при стационарном режиме?** а) параболой б) гиперболой в) логарифмической кривой г) прямой линией	Г	Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режим	5
9.	**Какое из перечисленных условий не входит в математическую постановку стационарных задач теплопроводности?** а) граничное условие б) геометрическое условие в) начальное условие г) условие сопряжения	В	Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режим	5
10	**Какой из перечисленных коэффициентов характеризует интенсивность теплообмена через многослойную стенку?** а) коэффициент температуропроводности б) коэффициент теплоотдачи в) коэффициент теплопередачи г) коэффициент теплопроводности	В	Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режим	5

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ (РГР)

Задания на РГР можно получить на кафедре ТОТиГ или непосредственно у преподавателя. Номер варианта выдается преподавателем. Решать задачи и отвечать на вопросы необходимо строго придерживаясь своего варианта (см. Таблица вариантов).

РГР выполняются на листах формата А4. Условия задачи и формулировку вопросов в РГР переписываются полностью.

Решения задач должны сопровождаться краткими объяснениями, рисунками и подробными вычислениями. При вычислении какой-либо величины нужно словами указать, какая величина вычисляется. В процессе решения задач необходимо сначала привести формулы, лежащие в основе вычислений, проделать с ними все выкладки (в буквенном выражении) и лишь затем подставлять соответствующие числовые значения и производить вычисления. Нужно указать размерности величин, заданных в условии задач, а также найденных в результате решения задачи.

Ответы на контрольные вопросы должны быть исчерпывающими, хотя и не пространными. При решении задач и в ответах на вопросы следует придерживаться принятой в учебниках системы обозначений, терминов и Международной системой единиц (СИ).

Таблица вариантов

Номер варианта	Номера задач и вопросов	Номер варианта	Номера задач и вопросов
1	1, 11, 22, 33, 44	26	8, 15, 22, 35, 42
2	2, 13, 24, 35, 46	27	9, 16, 23, 36, 49
3	3, 14, 25, 36, 47	28	10, 17, 24, 31, 44
4	4, 15, 26, 37, 48	29	1, 14, 21, 34, 47
5	5, 16, 27, 38, 49	30	2, 15, 22, 35, 48
6	6, 17, 28, 39, 50	31	3, 18, 24, 38, 44
7	7, 18, 29, 40, 49	32	5, 19, 25, 39, 45
8	8, 19, 30, 39, 48	33	6, 20, 26, 32, 46
9	9, 20, 29, 38, 47	34	7, 13, 27, 33, 47
10	10, 19, 28, 37, 46	35	8, 14, 28, 34, 48
11	2, 14, 26, 38, 50	36	9, 15, 29, 35, 49
12	3, 15, 27, 39, 47	37	10, 16, 30, 36, 50
13	4, 16, 28, 40, 48	38	1, 15, 21, 36, 42
14	5, 17, 29, 37, 41	39	2, 11, 23, 32, 41
15	6, 18, 30, 38, 42	40	3, 12, 22, 31, 43
16	7, 19, 27, 31, 43	41	10, 12, 27, 32, 47
17	8, 20,28, 32, 44	42	9, 13, 28, 33, 48
18	9, 11, 21, 33, 45	43	8, 14, 29, 34, 49
19	10, 12, 22, 34, 46	44	7, 15, 30, 35, 50
20	1, 13, 25, 37, 49	45	6, 16, 21, 36, 41
21	3, 16, 29, 36, 43	46	1, 17, 22, 37, 42
22	4, 17, 30, 37, 44	47	2, 18, 23, 38, 43
23	5, 18, 25, 32, 45	48	3, 19, 24, 39, 44
24	6, 19, 26, 33, 46	49	4, 20, 25, 40, 45
25	7, 20, 27, 34, 41	50	5, 11, 26, 31, 46

Методические указания по выполнению курсовой работы

Содержанием курсовой работы по тепломассообмену является поверочный расчет теплообменного аппарата рекуперативного типа с различными схемами движения теплоносителей и свойствами рабочих сред. В предлагаемом к расчету теплообменном аппарате имеют место все три вида теплопереноса: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение. В процессе расчета студент должен использовать основные теоретические и эмпирические результаты и расчетные соотношения, характерные для этих видов теплопереноса.

В результате выполнения работы студент должен научиться выполнять тепловой расчет теплообменного аппарата рекуперативного типа, в том числе:

- рассчитывать теплоотдачу при вынужденной конвекции газа в каналах круглого и некруглого сечения;
- рассчитывать теплоотдачу излучением между газом и стенкой;
- рассчитывать теплоотдачу при свободной конвекции газа в неограниченном пространстве;
- рассчитывать теплопередачу через одно- и многослойные стенки;
- рассчитывать теплопередачу через оребренную стенку.

Курсовая работа выполняется в течение 6–го (весеннего) семестра. Отчет о выполнении и защита курсовой работы представляются преподавателю за неделю до начала сессии. Студенты, не сдавшие курсовую работу, к экзамену по тепломассообмену не допускаются. По курсовой работе выставляется оценка.

Исходные данные для курсовой работы

Основные данные, характеризующие условия работы теплообменника и необходимые для проведения расчетов, приведены ниже в табл. 3.1 – 3.4.

Состав продуктов сгорания

Таблица 3.1

Номер варианта	Объемные доли, %		
	CO_2	H_2O	N_2
1-5	10	7	83
6-10	12	9	79
11-15	14	11	75
16-20	16	13	71
21-25	18	15	67

Схема движения теплоносителей

Таблица 3.2

Номер варианта	Наименование схемы
1-6, 12-18	Противоток
7-11, 19-25	Прямоток

Предполагается, что теплообменник изготовлен из следующих материалов: стенки теплообменника - сталь хромоникелевая *1Х18Н9Т*, теплоизоляция — стекловата, наружная обшивка - алюминий. Характеристика стали, приведена в табл. 3.5. Теплофизические характеристики материалов приведены в табл. 3.6.

Окружающая среда - воздух с температурой $T_{окр}$=300К и давлением $p_{окр}$=0,1МПа. Дополнительная справочная информация содержится в [1-8].

Геометрические характеристики

Таблица 3.3

№ вар	L, мм	D, мм	h, мм	δ, мм	$h_р$, мм	$\delta_р$, мм	$\delta_и$, мм	$\delta_о$, мм	n
1	1000	100	10	3	4	2	50	4	4
2	1100	150	12	3	5	2	55	4	5
3	1200	200	14	3	6	2	60	4	6
4	1300	250	16	3	7	2	65	4	7
5	1400	300	18	3	8	2	70	4	8
6	1500	350	20	3	9	2	75	4	9
7	1600	400	22	3	10	2	80	4	10

8	1700	450	24	3	11	3	85	4	11
9	1800	500	26	5	12	3	90	4	12
10	1900	550	28	5	13	3	95	4	13
11	2000	600	30	5	14	3	100	4	14
12	2100	650	32	5	15	3	105	4	15
13	2200	700	34	5	16	3	110	4	16
14	2300	750	36	5	17	3	115	4	17
15	2400	800	38	5	18	3	120	4	18
16	2500	850	40	5	19	3	125	4	19
17	2600	900	42	5	20	3	130	4	20
18	2700	950	44	7	21	4	135	4	21
19	2800	1000	46	7	22	4	140	4	22
20	2900	1050	48	7	23	4	145	4	23
21	3000	1100	50	7	24	4	150	4	24
22	3100	1150	52	7	25	4	155	4	25
23	3200	1200	54	7	26	4	160	4	26
24	3300	1250	56	7	27	4	165	4	27
25	3400	1300	58	7	28	4	170	4	28

Режимные параметры

Таблица 3.4

№ вар	Начальная температура, К		Массовый расход, кг/час	
	продуктов сгорания $T_{г0}$	воздуха $T_{в0}$	продуктов сгорания $G_{г0}$	воздуха $G_{в0}$
1-5	800	300	500	800
6-10	900	300	600	900
11-15	1000	300	700	1000
16-20	1100	300	800	1100
21-25	1200	300	900	1200

Характеристика стали [1]

Таблица 3.5

Химический состав, %							Температурный интервал использования, ^oC
C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Другие элементы	
0,14	0,7	1,2	17-20	-	8-11	Ti – 0,5	0-900

Теплофизические характеристики

Таблица 3.6

Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), при температуре, ^oC								Степень черноты при температуре, ^oC
	100	200	300	400	500	600	700	800	200-600
Сталь	16,0	17,6	19,2	20,8	22,3	23,8	25,5	27,6	0,79
Стекловата	0,04								-
Алюминий	240	238	234	228	215	-	-	-	0,09

Порядок выполнения курсовой работы

В теплообменнике, расчет которого требуется выполнить в данном задании, имеют место все три вида теплопереноса: теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообмен излучением. Теплообмен считается стационарным. Предполагают, что тепловые потоки через торцевые поверхности теплообменника пренебрежимо малы. Передача теплоты от продуктов сгорания к воздуху через оребренную стенку (внутреннюю стенку теплообменника) и наружную трехслойную стенку описывается основным уравнением теплопередачи. Движение газа и жидкости может быть вынужденным (вынужденная конвекция) и свободным (свободная конвекция). Характер физических процессов и расчетные формулы в этих двух случаях существенно различаются.

В данной работе считается, что во внутренних каналах теплообменника имеет место вынужденная конвекция, а на его наружной поверхности (со стороны окружающей среды) - свободная.

При описании теплоотдачи конвекцией от продуктов сгорания к стенке, от стенки к воздуху и от поверхности наружной обшивки в окружающую среду используются критериальные уравнения конвективного теплообмена. При описании теплообмена излучением между продуктами сгорания и стенкой теплообменника, поверхностью наружной обшивки и окружающей средой используется модель радиационного теплообмена между двумя бесконечно протяженными плоскими стенками, разделенными диатермичной средой.

Задача теплообмена при наличии различных механизмов теплопередачи формулируется, вообще говоря, в виде системы нелинейных алгебраических уравнений, для решения которой используется метод последовательных приближений (метод итераций).

Поэтому расчет рекомендуется выполнять методом последовательных приближений в следующем порядке.

1. Задаться температурой продуктов сгорания на выходе из теплообменника ($T_г''$), температурой воздуха на выходе из теплообменника ($T_в''$), температурой внутренней ($T_{вн}$), наружной стенки теплообменника ($T_{нар}$), средней температурой слоя теплоизоляции ($T_и$), температурой наружной поверхности обшивки ($T_о$) и величиной теплового потока в окружающую среду (тепловыми потерями) ($Q_п$). На первом шаге выполнения расчета задать $Q_п$=0.

2. По средней температуре продуктов сгорания $T_{г.ср}$=0,5($T_{г0}$+$T_г''$) и составу продуктов сгорания рассчитать теплофизические характеристики:

- удельную массовую теплоемкость $c_{р.г}$;
- плотность $\rho_г$,
- теплопроводность $\lambda_г$,
- кинематическую вязкость $\nu_г$,
- коэффициент температурного расширения $\beta_г$,
- степень черноты объема продуктов сгорания $\varepsilon_г$.

3. По средней температуре воздуха $T_{в.ср}$=0,5($T_{в0}$+$T_в''$) рассчитать теплофизические характеристики:

- удельную массовую теплоемкость $c_{р.в}$,
- плотность $\rho_в$,
- теплопроводность $\lambda_в$,
- кинематическую вязкость $\nu_в$.

Степень черноты воздушного объема ($\varepsilon_в$) полагается равной нулю (воздух - среда диатермичная).

4. По принятой величине средней температуры внутренней стенки теплообменника ($T_{вн}$) определить коэффициент теплопроводности стенки $\lambda_{вн}$, и степень черноты стенки $\varepsilon_{вн}$.

5. По принятой величине средней температуры наружной стенки теплообменника ($T_{нар}$) рассчитать коэффициент теплопроводности стенки $\lambda_{нар}$.

6. По принятой величине средней температуры теплоизоляции ($T_и$) рассчитать коэффициент теплопроводности теплоизоляции $\lambda_и$.

7. По принятой величине средней температуры обшивки ($T_о$) рассчитать коэффициент теплопроводности обшивки $\lambda_о$, и степень черноты стенки $\varepsilon_о$.

8. Рассчитать коэффициент теплоотдачи конвекцией от продуктов сгорания к стенке ($\alpha_{г.к}$), коэффициент теплоотдачи излучением ($\alpha_{г.л}$) и суммарный коэффициент теплоотдачи $\alpha_г$=$\alpha_{г.к}$+$\alpha_{г.л}$.

9. Рассчитать коэффициент эффективности ребра (E).

10. Рассчитать коэффициент теплоотдачи от оребренной стенки теплообменника к воздуху в щелевом пространстве ($\alpha_в'$).

11. Рассчитать коэффициент теплоотдачи от воздуха в щелевом пространстве к наружной стенке теплообменника ($\alpha_в''$).

12. Рассчитать коэффициент теплоотдачи конвекцией от наружной поверхности обшивки к окружающему воздуху ($\alpha_{окр.к}$), коэффициент теплоотдачи излучением от наружной поверхности обшивки в окружающую среду ($\alpha_{окр.л}$) и суммарный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{окр}$=$\alpha_{окр.к}$+$\alpha_{окр.л}$.

13. Рассчитать коэффициент теплопередачи через внутреннюю стенку теплообменника ($k_{вн}$).

14. Рассчитать коэффициент теплопередачи через наружную стенку теплообменника, теплоизоляцию и обшивку в окружающую среду ($k_{нар}$).

15. Рассчитать средний температурный напор через внутреннюю стенку теплообменника ($\Delta\overline{T}_{вн}$).

16. Рассчитать средний температурный напор через наружную стенку теплообменника, теплоизоляцию и обшивку ($\Delta\overline{T}_{нар}$).

17. Рассчитать тепловой поток через внутреннюю стенку теплообменника ($Q_{вн}$), линейную плотность теплового потока ($q_{вн}$) и среднюю температуру внутренней стенки ($T_{вн}$).

18. Рассчитать тепловой поток через наружную стенку теплообменника, теплоизоляцию и обшивку - тепловые потери ($Q_п$), линейную плотность теплового потока ($q_п$) и среднюю температуру наружной стенки теплообменника ($T_{нар}$), теплоизоляции ($T_и$) и наружной поверхности обшивки ($T_о$).

19. Рассчитать температуру продуктов сгорания на выходе из теплообменника ($T_г''$).

20. Рассчитать температуру воздуха на выходе из теплообменника ($T_в''$).

21. Оценить величину погрешности приближения ε.

22. Если величина ε превышает допустимое значение, повторить расчет п. 2.

23. Рассчитать температуру стенки внутреннего цилиндра в точках входа и выхода воздушного потока ($T_{вн}^{вх}$, $T_{вн}^{вых}$). Определить максимальную температуру стенки внутреннего цилиндра ($T_{вн}^{max}$), считая, что она достигается либо в точке входа, либо в точке выхода воздушного потока.

24. Рассчитать температуру всех слоев наружной стенки в точках входа и выхода воздушного потока ($T_{нар}^{вх}$, $T_{и}^{вх}$, $T_{о}^{вх}$, $T_{нар}^{вых}$, $T_{и}^{вых}$, $T_{о}^{вых}$). Определить максимальную температуру всех слоев наружной стенки ($T_{нар}^{max}$, $T_{и}^{max}$, $T_{о}^{max}$) считая, что она достигается либо в точке входа, либо в точке выхода воздушного потока.

25. Построить графики распределения температур теплоносителей по высоте теплообменника.

26. Построить график распределения температур по толщине внутренней стенки.

27. Построить график распределения температур по толщине наружной стенки теплообменника (внутренний стальной цилиндр, теплоизоляция, наружная обшивка).

В качестве предельно допустимой величины ε принять $\varepsilon = 0{,}05$.

Расчеты выполнять в системе СИ.

Оформление пояснительной записки

Титульный лист

Первая страница пояснительной записки (титульный лист) строится по образцу, показанному на рис.3.

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

К а ф е д р а «Теоретические основы теплотехники и гидромеханика»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по курсу «ТЕПЛОМАССООБМЕН»

Вариант №…

Выполнил: студент 3-ТЭФ-2
Петров А.Н.

Проверил: канд.техн.наук., доц. каф.ТОТиГ
Габдушев Р.Ж.

Самара 2019

Рис. 3. Образец выполнения титульного листа

Форма представления результатов расчета

Пояснительная записка оформляется на стандартных листах формата А4 (вертикальное расположение листов) и должна содержать следующие разделы:

- номер варианта и содержание задания;
- методика расчета - описание последовательности выполнения задания (необходимые пояснения, расчетные формулы, основные численные результаты);
- результаты расчетов в табличной форме;
- графики.

В пояснительной записке необходимо полностью привести результаты расчета последней итерации.

Результаты расчета

Таблица 5.1

Теплофизические характеристики воздуха			
$C_{р,в}$, Дж/(кг·К)	$\rho_в$, кг/м^3	$\lambda_в$, Вт/(м·К)	$\nu_в$, м^2/с

Теплофизические характеристики продуктов сгорания					
$C_{р,г}$, Дж/(кг·К)	$\rho_г$, кг/м^3	$\lambda_г$, Вт/(м·К)	$\nu_г$, м^2/с	$\varepsilon_г$	$\beta_г$, К$^{-1}$

Температура							
Воздух		Продукты сгорания		Стенки			
$T_{в0}$	$T_в''$	$T_{г0}$	$T_г''$	$T_{вн}$	$T_{нар}$	$T_и$	$T_о$

Характеристики теплоотдачи	
Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К)	Эффективность оребрения

$\alpha_{г,к}$	$\alpha_{г,л}$	$\alpha_{г}$	$\alpha_{в}'$	$\alpha_{в}''$	$\alpha_{окр,к}$	$\alpha_{окр,л}$	$\alpha_{окр}$	E

Теплофизические характеристики материала стенок			
$\lambda_{вн}$, Вт/(м·К)	$\lambda_{нар}$, Вт/(м·К)	$\lambda_{и}$, Вт/(м·К)	$\lambda_{о}$, Вт/(м·К)

Характеристики теплопередачи									
Площадь поверхности теплообмена, $м^2$		Среднелогарифмический температурный напор, К		Линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К)		Тепловой поток, Вт		Линейная плотность теплового потока, Вт/м	
$F_{вн}$	$F_{нар}$	$\Delta\overline{T}_{вн}$	$\Delta\overline{T}_{нар}$	$k_{вн}$	$k_{нар}$	$Q_{вн}$	$Q_{п}$	$q_{вн}$	$q_{п}$