



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета инженерной
экологии и городского хозяйства

Суханова Суханова И.И.

« 09 » 09 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИН (МОДУЛЕЙ)

Тепломассообмен

Форма обучения:

очно-заочная

Год приема:

2022

Санкт-Петербург, 2022

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у слушателей понимания физической сущности процессов тепло- и массообмена, протекающих в технологических установках систем теплогазоснабжения и вентиляции;
- освоение обучающимися теоретических, экспериментальных и расчетных методов, используемых при изучении и расчете процессов тепло- и массообмена.

Задачами освоения дисциплины являются:

- изучение основных положений теории теплообмена;
- овладение современными инженерными методами расчета теплообменных процессов, аппаратов и установок.

2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих профессиональных компетенций:

ОПК-3. Способен принимать решения в профессиональной сфере, используя теоретические основы и нормативную базу строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства;

ПК-1. Способен выполнять работы по проектированию и обоснованию проектных решений систем теплогазоснабжения и вентиляции.

В результате изучения дисциплины «Теплообмен» слушатель должен:

знать:

- законы процессов передачи теплоты теплопроводностью, конвекцией и излучением;
- методы расчета температурных полей, тепловых потоков, потоков вещества в элементах систем теплогазоснабжения и вентиляции;
- теоретические основы теплового и гидравлического расчета теплообменных аппаратов;
- основные типы и конструкции теплообменных аппаратов, применяемых в системах теплогазоснабжения и вентиляции;
- наиболее эффективные отечественные и зарубежные теплообменники;

уметь:

- применять методы теории тепло- и массообмена для решения инженерных задач;
- проводить расчет температурных полей, тепловых потоков, потоков вещества в элементах систем теплогазоснабжения и вентиляции;
- определять коэффициент теплоотдачи при естественном и вынужденном движениях жидкости, а также при фазовых переходах;
- рассчитывать передаваемые тепловые потоки;
- применять современные методики для решения инженерных задач в теплообменных аппаратах;
- пользоваться технической, справочной и нормативной литературой;

владеть:

- методами теории подобия при обработке опытных данных;
- навыками выполнения расчетов процессов тепло- и массообмена в оборудовании систем теплогазоснабжения и вентиляции;
- навыками анализа результатов расчетов и поиска оптимальных решений.
- основами расчета процессов теплообмена в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования;
- методами экспериментального исследования теплообмена и обработки результатов эксперимента;

- методами интенсификации теплообмена;
- методами вариантного проектирования.

3. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Вид учебной работы	Всего часов
Контактная работа (по учебным занятиям)	44
в т.ч. лекции	24
практические занятия (ПЗ)	12
лабораторные работы (ЛР)	8
Самостоятельная работа (СР)	12
Текущий контроль	
Расчетно-графическая работа (РГР)	-
Контрольная работа (К)	-
Промежуточная аттестация	
Курсовой проект (КП)	-
Курсовая работа (КР)	-
Зачет	+
Дифференцированный зачет	-
Экзамен	-
Общая трудоемкость	-
часы:	56

Распределение фонда времени по темам и типам занятий

№ п/п	Наименование	Всего, час.	В том числе				Формируемые компетенции
			Лекции	Практич. занятия	Лаб. работы	СРС	
1.	Тема 1. Теплообмен	34	14	4	8	8	
2.	1.1. Основные положения учения о теплообмене	2	2	-	-	-	ОПК-3
3.	1.2. Теплопроводность при стационарном режиме	12	2	2	4	4	ОПК-3 ПК-1
4.	1.3. Основы теории подобия	2	2	-	-	-	ОПК-3
5.	1.4. Теплопроводность при нестационарном режиме	2	2	-	-	-	ОПК-3
6.	1.5. Конвективный теплообмен	12	2	2	4	4	ОПК-3
7.	1.6. Теплообмен излучением	2	2	-	-	-	ОПК-3
8.	1.7. Теплообмен при фазовых превращениях	2	2	-	-	-	ОПК-3
9.	Тема 2. Теплообменные аппараты	20	10	8	-	2	ОПК-3 ПК-1
10.	2.1. Классификация, принцип действия и область применения теплообменных аппаратов	1	1	-	-	-	ОПК-3
11.	2.2. Рекуперативные теплообменные аппараты	12	4	6	-	2	ОПК-3 ПК-1

12.	2.3. Виды и особенности расчета электрических воздухонагревателей	1	1	-	-	-	ОПК-3
13.	2.4. Регенеративные теплообменные аппараты	4	2	2	-	-	ОПК-3
14.	2.5. Теплообменные аппараты смесительного типа	2	2	-	-	-	ОПК-3
15.	Промежуточная аттестация - зачет	2	-	-	-	2	ОПК-3 ПК-1
ИТОГО		56	24	12	8	12	-

4. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Тепломассобмен

1. 1. Основные положения учения о теплообмене.

Общие сведения о процессах переноса теплоты. Понятие о передаче теплоты теплопроводностью. Температурное поле, градиент температур. Тепловой поток (закон Фурье). Механизм теплопроводности в твердых телах, жидкостях и газах. Коэффициент теплопроводности, определяющие факторы. Понятие о конвективном теплообмене. Виды конвекции, закон Ньютона-Рихмана, коэффициент конвективного теплообмена. Понятие о теплообмене излучением. Закон Стефана-Больцмана. Условный коэффициент теплоотдачи излучением. Сложный теплообмен.

1.2. Теплопроводность при стационарном режиме.

Дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье (Фурье-Кирхгофа). Коэффициент температуропроводности и его физический смысл. Краевые условия (условия однозначности), физическое содержание, область применения.

Передача теплоты через однородное криволинейное ограждение постоянной толщины (общий случай).

Передача теплоты через плоское однородное (изотропное) ограждение.

Передача теплоты через плоские неоднородные (анизотропные) ограждения (однородность которых нарушена: перпендикулярно (многослойные), параллельно, одновременно параллельно и перпендикулярно и перпендикулярно вектору теплового потока). Коэффициент теплопередачи, общее термическое сопротивление, плотность теплового потока. Поле температур в плоских ограждениях. Графоаналитический метод определения температур в плоских многослойных ограждениях.

Передача теплоты через цилиндрические ограждения (однослойные и многослойные). Поле температур в цилиндрических ограждениях. Критический диаметр тепловой изоляции и его практическое значение.

Теплоотдача неизолированной трубы в полуограниченном массиве. Тепловой поток, поле температур. Метод фиктивного слоя. Область практического применения.

Изменение температуры среды, движущейся по трубопроводу. Постановка и теоретическое решение задачи. Область практического применения.

Интенсификация процессов теплопередачи. Практическое значение оребрения поверхности. Теплоотдача ребра бесконечной и конечно длины постоянного поперечного сечения. Температурное поле, тепловой поток.

1.3. Основы теории подобия

Основные положения теории подобия, область практического применения.

Теоремы подобия. Анализ уравнений методами теории подобия. Числа теплового и гидромеханического подобия, получаемые из анализ систем уравнений, описывающих процессы переноса теплоты. Физическое значение и область применения некоторых чисел подобия.

1.4. Теплопроводность при нестационарном режиме

Общие понятия о нестационарном теплообмене. Остывание (нагревание) тел простейшей геометрической формы бесконечной протяженности.

1.5. Конвективный теплообмен

Естественная конвекция в неограниченном пространстве. Механизм переноса теплоты, характер движения среды, роль пограничного слоя. Аналитическое описание процесса: система дифференциальных уравнений и краевых условий (условий однозначности). Уравнение подобия (критериальное уравнение) естественной конвекции. Понятие об области автомодельности и ее практическое значение для исследования процессов конвективного теплообмена.

Определяющие размер и температура, их роль в решении практических задач.

Коэффициент конвективного теплообмена.

Вынужденная конвекция. Механизм переноса теплоты, характер движения среды, аналитическое описание процесса. Общий вид уравнения подобия вынужденной конвекции.

Теплообмен при движении в трубах и каналах, характер течения среды, частный вид уравнения подобия.

Теплообмен при внешнем обтекании тел: одиночной трубы, пучков труб («коридорного», «шахматного»), пластины. Характер течения среды, зависимость теплоотдачи от числа Рейнольдса, угла «атаки». Определяющие размер и температура.

1.6. Теплообмен излучением

Природа теплового излучения. Спектр излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тела. Понятия об абсолютно черном, белом (Блестящем) и прозрачном телах. «Серые» тела. Собственное и эффективное излучение.

Основные законы излучения: Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта.

Теплообмен излучением в замкнутой системе, состоящей из «серых» тел: плоскопараллельные поверхности; одно из тел находится в полости другого; произвольно расположенные поверхности. Влияние нетеплоемких экранов на теплообмен излучением.

1.7. Тепломассообмен при фазовых превращениях.

Уравнения теории массо- и теплообмена. Основные понятия. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Уравнения диффузии и неразрывности. Уравнения движения смеси. Уравнение энергии. Число Льюиса. Уравнение баланса массы и энергии для межфазной границы. Диффузионный пограничный слой. Уравнения теории пограничного слоя при наличии массообмена.

Массо- и теплообмен при кипении жидкости (воды). Механизм кипения, пленочное и пузырьковое кипение, расчетные формулы для воды.

Массо- и теплообмен при конденсации чистых водяных паров. Пленочная и капельная конденсация. Вывод расчетных зависимостей для определения теплоотдачи в условиях пленочной конденсации.

Тема 2. Теплообменные аппараты

2.1. Классификация, принцип действия и область применения теплообменных аппаратов

Назначение, классификация, принцип действия и область применения теплообменных аппаратов в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

2.2. Рекуперативные теплообменные аппараты

Системы уравнений, применяемые в тепловых расчетах теплообменников. Понятие о водяном эквиваленте и NTU.

Характер изменения температур сред по длине аппарата в зависимости от соотношения водяных эквивалентов. Определение средней разности температур (средней логарифмической и средней арифметической). Определение конечной температуры одной из сред при различном взаимном направлении их движения: теоретическое и

графоаналитическое. Определение коэффициента теплопередачи в рекуперативном теплообменнике.

Методика расчета рекуперативного теплообменника: а) при теплоносителе – вода и б) при теплоносителе – пар. Типы конструкции теплообменников. Виды присоединения по теплоносителю. Регулирование начальной температуры воды.

Показатели гидравлического и аэродинамического сопротивления рекуперативного теплообменника.

Воздухонагреватели и воздухоохладители поверхностного типа (калориферы).

Система уравнений и методика практического расчета рекуперативных теплообменников.

2.3. Виды и особенности расчета электрических воздухонагревателей

2.4. Регенеративные теплообменные аппараты

Область применения и особенности работы регенеративных теплообменников. Основные уравнения и методы практического расчета регенеративных теплообменников в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Типы и конструкции регенеративных теплообменных аппаратов, применяемых в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

2.5. Теплообменные аппараты смесительного типа

Область применения. Типы теплообменных аппаратов. Особенности расчета.

5. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	№ темы	Наименование практического занятия
Практические занятия		
1	1.2	1. Теплопередача через плоские ограждения (однородные и неоднородные). Поле температур. 2. Определение теплового потока и поля температур в однородных цилиндрических ограждениях. 3. Определение теплового потока и поля температур в многослойных цилиндрических ограждениях. 4. Критический диаметр цилиндрической стенки.
2	1.5	1. Теплоотдача при естественной конвекции в неограниченном пространстве. 2. Теплопередача через жидкостные прослойки. 3. Теплоотдача в условиях вынужденной конвекции: течение среды по трубопроводу, обтекание одиночной трубы, пучков труб, пластины.
3	2.2	1. Проектный расчет воздухонагревателя 2. Поверочный расчет воздухонагревателя 3. Тепловой расчёт горизонтального секционного кожухотрубного водяного подогревателя
4	2.4	Расчет регенеративного теплообменника
Лабораторные занятия		
1	2.2	Теплопроводность при стационарном режиме Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала
2	2.4	Теплообмен в жидкостях и газах Теплоотдача вертикального цилиндра при естественной конвекции. Исследование процессов теплообмена на горизонтальном трубопроводе

6. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СЛУШАТЕЛЕЙ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование раздела дисциплины	Наименование самостоятельной работы слушателей	Всего часов
1	1.2	Теплопроводность при стационарном режиме	Подготовка к практическим и лабораторным занятиям	4
2	1.5	Конвективный теплообмен	Подготовка к практическим и лабораторным занятиям	4
3	2.2	Рекуперативные теплообменные аппараты	Подготовка к практическим занятиям	2
4	Подготовка к сдаче и сдача зачета			2
	ВСЕГО			12

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ СЛУШАТЕЛЕЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Код и наименование контролируемой компетенции (или ее части)	Результаты обучения
1	Тема 1. Тепломассообмен	ОПК-3. Способен принимать решения в профессиональной сфере, используя теоретические основы и нормативную базу строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - законы процессов передачи теплоты теплопроводностью, конвекцией и излучением. - методы расчета температурных полей, тепловых потоков, потоков вещества в элементах систем теплогазоснабжения и вентиляции <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять методы теории тепло- и массообмена для решения инженерных задач. - проводить расчет температурных полей, тепловых потоков, потоков вещества в элементах систем теплогазоснабжения и вентиляции <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками использования терминологии. - навыками выполнения расчетов процессов теплообмена в оборудовании

			<p>систем теплогазоснабжения и вентиляции</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами теории подобия при обработке опытных данных
			<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проводить расчет температурных полей, тепловых потоков, потоков вещества в элементах систем теплогазоснабжения и вентиляции.
			<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками выполнения расчетов процессов теплообмена в оборудовании систем теплогазоснабжения и вентиляции.
2	Тема 1. Теплообмен	ПК-1. Способен выполнять работы по проектированию и обоснованию проектных решений систем теплогазоснабжения и вентиляции	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методы расчета температурных полей, тепловых потоков, потоков вещества в элементах систем теплогазоснабжения и вентиляции.
			<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проводить расчет температурных полей, тепловых потоков, потоков вещества в элементах систем теплогазоснабжения и вентиляции.
			<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками выполнения расчетов процессов теплообмена в оборудовании систем теплогазоснабжения и вентиляции; - навыками анализа результатов расчетов и поиска оптимальных решений.
3	Тема 2. Теплообменные аппараты	ОПК-3. Способен принимать решения в профессиональной сфере, используя теоретические основы и нормативную базу строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные типы и конструкции теплообменных аппаратов, применяемых в системах теплогазоснабжения и вентиляции; - наиболее эффективные отечественные и зарубежные теплообменники - теоретические основы теплового и гидравлического

			<p>расчета теплообменных аппаратов;</p> <ul style="list-style-type: none"> - методы и приемы решения практических задач в пределах изучаемого курса
			<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> -выполнить классификацию типов и конструкций теплообменных аппаратов - определять коэффициент теплоотдачи при естественном и вынужденном движениях жидкости, а также при фазовых переходах; - рассчитывать передаваемые тепловые потоки; - применять современные методики для решения инженерных задач в теплообменных аппаратах; - пользоваться технической, справочной и нормативной литературой.
			<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками использования терминологии - основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования; - методами экспериментального исследования теплообмена и обработки результатов эксперимента; - методами интенсификации теплообмена; - методами вариантного проектирования.
4	Тема 2. Теплообменные аппараты	ПК-1. Способен выполнять работы по проектированию и обоснованию проектных решений систем теплогазоснабжения и вентиляция	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методы и приемы решения практических задач в пределах изучаемого курса <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять современные методики для решения инженерных задач в теплообменных аппаратах; - пользоваться технической, справочной и нормативной литературой.

			<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основами расчета процессов теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования.
--	--	--	--

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы текущего контроля успеваемости, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины.

Текущий контроль выполняется в ходе изучения теоретического материала в виде экспресс-опроса.

7.3. Теоретические вопросы и практические задания для проведения промежуточной аттестации обучающихся (слушателей), необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы.

7.3.1. Теоретические вопросы для проведения промежуточной аттестации слушателей.

Вопросы к зачету.

1. Понятие о передаче теплоты теплопроводностью. Температурное поле, градиент температур, тепловой поток (закон Фурье).

2. Механизм теплопроводности в твердых телах, жидкостях и газах. Коэффициент теплопроводности, определяющие факторы.

3. Виды конвекции, закон Ньютона-Рихмана, коэффициент конвективного теплообмена.

4. Закон Стефана-Больцмана. Условный коэффициент теплоотдачи излучением.

5. Сложный теплообмен.

6. Дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье (Фурье - Кирхгофа). Коэффициент теплопроводности и его физический смысл.

7. Краевые условия (условия однозначности), физическое содержание, область применения.

8. Передача теплоты через однородное криволинейное ограждение постоянной толщины (общий случай).

9. Передача теплоты через плоское однородное (изотропное) ограждение. Коэффициент теплопередачи, общее термическое сопротивление, плотность теплового потока. Поле температур в плоских ограждениях.

10. Передача теплоты через плоские неоднородные (анизотропные) ограждения (однородность которых нарушена: перпендикулярно (многослойные), параллельно, одновременно параллельно и перпендикулярно вектору теплового потока).

11. Передача теплоты через цилиндрические ограждения (однослойные и многослойные).

12. Поле температур в цилиндрических ограждениях.

13. Критический диаметр тепловой изоляции и его практическое значение.

14. Теплоотдача неизолированной и изолированной трубы в полуограниченном массиве. Тепловой поток, поле температур. Метод фиктивного слоя. Область практического применения.

15. Изменение температуры среды, движущейся по трубопроводу. Постановка и теоретическое решение задачи. Область практического применения.

16. Интенсификация процессов теплопередачи.

17. Практическое значение оребрения поверхности. Теплоотдача ребра бесконечной и конечной длины постоянного поперечного сечения. Температурное поле, тепловой поток.
18. Основные положения теории подобия, область практического применения.
19. Теоремы подобия. Анализ уравнений методами теории подобия.
20. Числа теплового и гидромеханического подобия, получаемые из анализа систем уравнений, описывающих процессы переноса теплоты.
21. Физическое значение и область применения чисел подобия.
22. Теория размерностей.
23. Моделирование тепловых процессов.
24. Естественная конвекция в неограниченном пространстве. Механизм переноса теплоты, характер движения среды, роль пограничного слоя.
25. Аналитическое описание процесса естественной конвекции: система дифференциальных уравнений и краевых условий (условий однозначности).
26. Уравнение подобия (критериальное уравнение) естественной конвекции. Понятие об области автомодельности и ее практическое значение для исследования процессов конвективного теплообмена.
27. Определяющие размер и температура, их роль в решении практических задач.
28. Естественная конвекция в ограниченном пространстве.
29. Теплопередача через жидкостные прослойки. Эквивалентный коэффициент теплопроводности.
30. Вынужденная конвекция. Механизм переноса теплоты, характер движения среды, аналитическое описание процесса.
31. Общий вид уравнений подобия вынужденной конвекции.
32. Теплообмен при движении в трубах и каналах, характер течения среды, частный вид уравнения подобия.
33. Теплообмен при внешнем обтекании одиночной трубы. Характер течения среды, зависимость теплоотдачи от числа Рейнольдса, угла «атаки». Определяющие размер и температура.
34. Теплообмен при внешнем обтекании пучков труб («коридорного», «шахматного»), пластины. Характер течения среды, зависимость теплоотдачи от числа Рейнольдса, угла «атаки». Определяющие размер и температура.
35. Охлаждение (нагревание) бесконечной пластины. Определение температурного поля и теплового потока.
36. Охлаждение (нагревание) шара. Определение температурного поля и теплового потока.
37. Охлаждение (нагревание) бесконечного цилиндра. Определение температурного поля и теплового потока.
38. Охлаждение (нагревание) цилиндра конечной длины. Определение температурного поля и теплового потока.
39. Охлаждение (нагревание) бесконечного цилиндра. Определение температурного поля и теплового потока.
40. Охлаждение (нагревание) прямоугольного параллелепипеда. Определение температурного поля и теплового потока.
40. Регулярный тепловой режим.
41. Охлаждение (нагревание) полуограниченного массива. Определение температурного поля и теплового потока. Решение задачи с применением фиктивного слоя (достоинства и недостатки).
42. Применение полученных зависимостей охлаждения (нагревания) полуограниченного массива для решения нестационарных тепловых процессов в массивах конечной толщины (плоских однородных ограждениях).
43. Природа теплового излучения. Спектр излучения.

44. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тела. Понятия об абсолютно черном, белом (блестящем) и прозрачном телах. «Серые» тела. Собственное и эффективное излучение.

45. Основные законы излучения. Законы Планка, Вина.

46. Основные законы излучения. Стефана – Больцмана, Кирхгофа, Ламберта.

47. Теплообмен излучением в замкнутой системе, состоящей из «серых» тел: плоскопараллельные поверхности; одно из тел находится в полости другого; произвольно расположенные поверхности.

48. Влияние нетеплоемких экранов на теплообмен излучением.

49. Излучение газов.

50. Уравнения теории массо- и теплообмена. Основные понятия.

51. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Уравнения диффузии и неразрывности. Уравнения движения смеси. Уравнение энергии.

52. Число Льюиса. Уравнение баланса массы и энергии для межфазной границы. Диффузионный пограничный слой.

53. Уравнения теории пограничного слоя при наличии массообмена.

54. Массо- и теплообмен при кипении жидкости (воды). Механизм кипения, пленочное и пузырьковое кипение.

55. Расчетные формулы при кипении воды.

56. Массо- и теплообмен при конденсации чистых водяных паров. Пленочная и капельная конденсация.

57. Расчетные зависимости для определения теплоотдачи в условиях пленочной конденсации.

58. Назначение и классификация (по принципу действия, взаимному направлению движения сред) теплообменных аппаратов и область их практического применения.

59. Схемы движения потоков и изменения температур в теплообменных аппаратах.

60. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Теплоемкость массового расхода (водяной эквивалент).

61. Средняя разность температур и методы ее вычисления.

62. Методика расчета теплообменных аппаратов. Определение конечной разности температур теплоносителей.

63. Методика расчета теплообменных аппаратов по безразмерным величинам.

64. Конструкции рекуперативных теплообменных аппаратов.

65. Конструкции воздухонагревателей и воздухоохладителей поверхностного типа

66. Виды и особенности расчета электрических воздухонагревателей.

67. Регенеративные теплообменные аппараты.

68. Теплообменные аппараты смешительного типа.

69. Методы регулирования теплоотдачи теплообменных аппаратов.

7.3.2. Практические задания для проведения промежуточной аттестации слушателей.

Не предусмотрено.

7.3.3. Примерные темы курсовой работы (проекта) (при наличии)

Не предусмотрено.

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

Процедура проведения текущего контроля успеваемости регламентируется локальным нормативным актом, определяющим порядок организации и проведения текущего контроля успеваемости обучающихся.

Процедура оценивания формирования компетенций при проведении текущего контроля приведена в п. 7.5.

Типовые контрольные задания или иные материалы текущего контроля приведены в п. 7.2.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета. Зачет проводится в форме теста.

7.5. Критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю) при проведении текущего контроля успеваемости

<p>Оценка «отлично» (зачтено) 85-100%</p>	<p>знания: – систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины, а также по основным вопросам, выходящим за пределы учебной программы; – точное использование научной терминологии, систематически грамотное и логически правильное изложение ответа на вопросы; – полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине (модулю)</p> <p>умения: – умеет ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку, используя научные достижения других дисциплин</p> <p>навыки: – высокий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; – владеет навыками самостоятельно и творчески решать сложные проблемы и нестандартные ситуации; – применяет теоретические знания для выбора методики выполнения заданий; – грамотно обосновывает ход решения задач; – безупречно владеет инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке научных и практических задач; – творческая самостоятельная работа на практических/семинарских/лабораторных занятиях, активно участвует в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий</p>
<p>Оценка «хорошо» (зачтено) 70-84 %</p>	<p>знания: – достаточно полные и систематизированные знания по дисциплине; – усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой по дисциплине (модулю)</p> <p>умения: – умеет ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях дисциплины и давать им критическую оценку; – использует научную терминологию, лингвистически и логически правильно излагает ответы на вопросы, умеет делать обоснованные выводы; – владеет инструментарием по дисциплине, умение его</p>

	<p>использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач</p> <p>навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – самостоятельная работа на практических занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий; – средний уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; – без затруднений выбирает стандартную методику выполнения заданий; – обосновывает ход решения задач без затруднений
<p style="text-align: center;">Оценка «удовлетворительно» (зачтено) 55-69%</p>	<p>знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> – достаточный минимальный объем знаний по дисциплине; – усвоение основной литературы, рекомендованной рабочей программой; – использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок <p>умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – умеет ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по дисциплине и давать им оценку; – владеет инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении типовых задач; – умеет под руководством преподавателя решать стандартные задачи; <p>навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – работа под руководством преподавателя на практических занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий; – достаточный минимальный уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; – испытывает затруднения при обосновании алгоритма выполнения заданий
<p style="text-align: center;">Оценка «неудовлетворительно» (не зачтено) менее 50 %</p>	<p>знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> – фрагментарные знания по дисциплине; – отказ от ответа (выполнения письменной работы); – знание отдельных источников, рекомендованных рабочей программой по дисциплине; <p>умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – не умеет использовать научную терминологию; – наличие грубых ошибок; <p>навыки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – низкий уровень культуры исполнения заданий; – низкий уровень сформированности заявленных в рабочей программе компетенций; – отсутствие навыков самостоятельной работы; – не может обосновать алгоритм выполнения заданий

7.6. Критерии оценивания сформированности компетенций при проведении промежуточной аттестации

Критерии оценивания	Уровень освоения и оценка			
	Оценка	Оценка	Оценка	Оценка

	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	<p>Уровень освоения компетенции «недостаточный». Компетенции не сформированы. Знания отсутствуют, умения и навыки не сформированы</p>	<p>Уровень освоения компетенции «пороговый». Компетенции сформированы. Сформированы базовые структуры знаний. Умения фрагментарны и носят репродуктивный характер. Демонстрируется низкий уровень самостоятельности практического навыка.</p>	<p>Уровень освоения компетенции «продвинутой». Компетенции сформированы. Знания обширные, системные. Умения носят репродуктивный характер, применяются к решению типовых заданий. Демонстрируется достаточный уровень самостоятельности устойчивого практического навыка.</p>	<p>Уровень освоения компетенции «высокий». Компетенции сформированы. Знания аргументированные, всесторонние. Умения успешно применяются к решению как типовых, так и нестандартных творческих заданий. Демонстрируется высокий уровень самостоятельности, высокая адаптивность практического навыка</p>
Знания	<p>Обучающийся (слушатель) демонстрирует: -существенные пробелы в знаниях учебного материала; -допускаются принципиальные ошибки при ответе на основные вопросы билета, отсутствует знание и понимание основных понятий и категорий; -непонимание сущности дополнительных вопросов в рамках заданий билета.</p>	<p>Обучающийся (слушатель) демонстрирует: -знания теоретического материала; -неполные ответы на основные вопросы, ошибки в ответе, недостаточное понимание сущности излагаемых вопросов; -неуверенные и неточные ответы на дополнительные вопросы.</p>	<p>Обучающийся (слушатель) демонстрирует: -знание и понимание основных вопросов контролируемого объема программного материала; - знания теоретического материала -способность устанавливать и объяснять связь практики и теории, выявлять противоречия, проблемы и тенденции развития; -правильные и конкретные, без</p>	<p>Обучающийся (слушатель) демонстрирует: -глубокие, всесторонние и аргументированные знания программного материала; -полное понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений, точное знание основных понятий, в рамках обсуждаемых заданий; -способность устанавливать и объяснять связь практики и теории, -логически</p>

			грубых ошибок, ответы на поставленные вопросы.	последовательные, содержательные, конкретные и исчерпывающие ответы на все задания билета, а также дополнительные вопросы экзаменатора.
Умения	При выполнении практического задания билета обучающийся (слушатель) продемонстрировал недостаточный уровень умений. Практические задания не выполнены. Обучающийся (слушатель) не отвечает на вопросы билета при дополнительных наводящих вопросах преподавателя.	Обучающийся (слушатель) выполнил практическое задание билета с существенными и неточностями. Допускаются ошибки в содержании ответа и решении практических заданий. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.	Обучающийся (слушатель) выполнил практическое задание билета с небольшими неточностями. Показал хорошие умения в рамках освоенного учебного материала. Предложенные практические задания решены с небольшими неточностями. Ответил на большинство дополнительных вопросов.	Обучающийся (слушатель) правильно выполнил практическое задание билета. Показал отличные умения в рамках освоенного учебного материала. Решает предложенные практические задания без ошибок. Ответил на все дополнительные вопросы.
Владение навыками	Не может выбрать методику выполнения заданий. Допускает грубые ошибки при выполнении заданий, нарушающие логику решения задач. Делает некорректные выводы. Не может обосновать алгоритм выполнения заданий.	Испытывает затруднения по выбору методики выполнения заданий. Допускает ошибки при выполнении заданий, нарушения логики решения задач. Испытывает затруднения с формулированием корректных выводов. Испытывает	Без затруднений выбирает стандартную методику выполнения заданий. Допускает ошибки при выполнении заданий, не нарушающие логику решения задач. Делает корректные выводы по результатам решения задачи. Обосновывает ход решения	Применяет теоретические знания для выбора методики выполнения заданий. Не допускает ошибок при выполнении заданий. Самостоятельно анализирует результаты выполнения заданий. Грамотно обосновывает ход решения задач.

		затруднения при обосновании алгоритма выполнения заданий.	задач без затруднений.	
--	--	---	------------------------	--

8. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы
Основная литература	
1	Дерюгин, В.В. Тепломассообмен: учебное пособие для вузов / В.В. Дерюгин, В.Ф. Васильев, В. М. Уляшева. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 240 с. - ISBN 978-5-8114-8109-5. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: https://e.lanbook.com/book/171853
2	Портнов, В.В. Рекуперативные и регенеративные теплообменные аппараты: учебное пособие / В. В. Портнов, Д. А. Коновалов, К. Г. Хрипунов. - 2-е изд. - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2020. - 104 с. - ISBN 978-5-7731-0878-8. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: https://www.iprbookshop.ru/111480.html
Дополнительная литература	
1	Горбачев, М. В. Тепломассообмен. Теплопроводность: учебное пособие / М. В. Горбачев. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. - 76 с. - ISBN 978-5-7782-4134-3. - Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/98744.html
2	Дульнев, Г. Н. Основы теории тепломассообмена: учебно-методическое пособие / Г. Н. Дульнев, С. В. Тихонов. - Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2010. - 93 с. - Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/40715
3	Примеры и задачи по тепломассообмену: учебное пособие / В. С. Логинов, А. В. Крайнов, В. Е. Юхнов [и др.]. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 256 с. — ISBN 978-5-8114-1132-0. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/112072
4	Цирельман, Н. М. Теория и прикладные задачи тепломассопереноса : учебное пособие / Н. М. Цирельман. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 504 с. — ISBN 978-5-8114-3621-7. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: https://e.lanbook.com/book/119624
5	Расчет рекуперативных теплообменных аппаратов: практикум (часть II) по дисциплине «Термодинамическая эффективность теплового оборудования и тепломассоперенос в нем» / составители В. В. Василенко, Н. В. Букаров. - Ростов-на-Дону : Донской государственный технический университет, 2019. - 24 с. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: https://www.iprbookshop.ru/117837.html

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

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
ЭБС издательства «Лань»	https://e.lanbook.com/

ЭБС издательства «IPRsmart»	http://www.iprbookshop.ru/
ЭБС «Консультант студента»	https://www.studentlibrary.ru
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	http://elibrary.ru/defaultx.asp
Сайт справочной правовой системы «Консультант Плюс»	http://www.consultant.ru/

8.2. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

1. Чтение лекций и проведение практических занятий с использованием презентаций (ОС Windows, Microsoft Office).

2. Работа с электронными текстами нормативно-правовых актов (Использование информационной справочной правовой системы Консультант).

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

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность оборудованием и техническими средствами обучения
Учебные аудитории для проведения практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации	Комплект мультимедийного оборудования (персональный компьютер, мультимедийный проектор, экран, аудио-система), доска, комплект учебной мебели, подключение к компьютерной сети СПбГАСУ, выход в Интернет
Учебные аудитории для самостоятельной работы	Помещение для самостоятельной работы (компьютерный класс): ПК-12 шт. (системный блок, монитор, клавиатура, мышь) с установленным мультимедийным оборудованием (проектор, экран, колонки) с доступом к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду СПбГАСУ; доска маркерная; комплект учебной мебели на 12 посадочных мест.
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, комплект мультимедийного оборудования (персональный компьютер, мультимедийный проектор, экран, аудио-система), доска, экран, комплект учебной мебели, подключение к компьютерной сети СПбГАСУ, выход в Интернет.
Учебная лаборатория Теплогазоснабжения и вентиляции: 2-я Красноармейская ул. Ауд: 137, 341, 427	Наклонный микроанометр ММН-2400(5)-1.0; Наклонный микроанометр ММН; Компенсационный микроанометр «Аскания»; Кататермометр; Глобтермометр; Психрометр «Ассмана»; Барометр; Секундомер; Пневмометрическая трубка; Лабораторный стенд «Аэродинамические испытания канальных вентиляторов RS 125

L»; Координатник; Дыммашина – VF-1; Тахометр – ТЧ10-Р; Анемометр цифровой; Радиальный вентилятор ЭВ 3,15; Лабораторный стенд «Испытание нагревательных приборов»; Насос «Wilo»; Бак для воды; Вентиль D 15; Балансировочный клапан MSV-C D15; Пьезометр; Вентилятор радиальный ВЦ 4-70; Водяной счетчик СГ-15; Термометр цифровой; Мерная ирисовая диафрагма IRIS 160; Стенд «Пункты редуцирования газа», «Устройство регулятора давления газа»; Стенд «Детали проточного водонагревателя»; Стенд «Внутридомовое газовое оборудование»; Стенд «Внутридомовое газовое оборудование», «Устройство бытовых теплогенераторов»; Стенд «Внутридомовое газовое оборудование», «Устройство проточных водонагревателей»; Стенд «Внутридомовое газовое оборудование», «Устройство газовых плит»; Стенд «Внутридомовое газовое оборудование», «Устройство внутреннего газопровода», Учет расхода газа», «Система контроля загазованности в помещении»; Стенд «Излучающие горелки»; Стенды «Устройство газовых счетчиков», «Устройство излучающей газовой горелки», «Горелки бытовых газовых плит»; Стенд «Изоляция стальных газопроводов» Стенд «Конденсационный газовый котел Rendamax R30»; Стенд «Элементы и детали полиэтиленовых газопроводов» Макет ШБГУ; Горелка ЕМ-3Е; ШРДГ -10; ВПГ-9; Анализатор газа АХТП; Мембранный газовый счетчик U-образные манометры; Поплавковый ротаметр РС-5; Бытовой счетчик газа; Лабораторный стенд «Автономная автоматизированная система отопления» ЭЛБ-160.015.01; Лабораторный стенд «Автоматизированная котельная на жидком и газообразном топливе» ЭЛБ- 160.014.01; Лабораторный стенд «Приборы учета тепловой энергии и теплоносителя» АО «Взлёт» Тепловизор testo 890; Тепловизор testo 865; Многофункциональный измерительный прибор testo 435-4 Компактный термоанемометр testo 425; Термогигрометр для долгосрочной работы testo 625; Инфракрасный термометр testo 830-T1 с лазерным целеуказателем (оптика 10:1);

	Компактный анемометр с крыльчаткой, testo 416; Тахометр testo 470; Карманный анемометр с крыльчаткой и сенсором влажности, testo 410-2; Дифференциальный манометр testo 512, от 0 до 2 гПа; Газоанализатор testo 310 с принтером; Влагомер древесины и строительных материалов testo 616; Манометр дифференциальный цифровой ДМЦ- 01М
--	--

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ (СЛУШАТЕЛЕЙ) ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Приступая к изучению дисциплины, обучающемуся (слушателю) необходимо в первую очередь ознакомиться содержанием РПД, а также методическими указаниями по организации самостоятельной работы и подготовки к практическим занятиям.

Программой дисциплины предусмотрено проведение лекционных занятий, на которых дается основной систематизированный материал. Кроме того, важнейшим этапом изучения дисциплины является самостоятельная работа обучающихся с использованием средств и возможностей современных образовательных технологий.

В объем самостоятельной работы по дисциплине включается следующее:

- изучение теоретических вопросов по всем темам дисциплины;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к текущему контролю успеваемости студентов;
- подготовка к зачету.

Залогом успешного освоения этой дисциплины является обязательное посещение лекционных занятий, так как пропуск одного (тем более, нескольких) занятий может осложнить освоение разделов курса.

Итогом изучения дисциплины является зачет. Форма проведения – тестирование.

Программу составил:
заведующий кафедрой ТГВ
к.ф.-м.н., доцент



(подпись) (Пономарев Н.С.)

Программа обсуждена и рекомендована на заседании кафедры теплогазоснабжения и вентиляции «06» сентября 2022 г., протокол № 1.

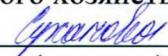
Заведующий кафедрой ТГВ
к.ф.-м.н., доцент



(подпись) (Пономарев Н.С.)

Программа обсуждена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии факультета инженерной экологии и городского хозяйства «09» сентября 2022 г., протокол № 1.

Председатель учебно-методической комиссии факультета,
декан факультета инженерной экологии и городского хозяйства
к.т.н., доцент



(подпись) (Суханова И.И.)

Согласовано:

Начальник учебно-методического
управления,
к.э.н., доцент



(подпись) (Михайлова А.О.)

Директор института повышения
квалификации и профессиональной
переподготовки специалистов,
к.э.н.



(подпись) (Виноградова В.В.)

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ
в рабочую программу дисциплины (модуля)
«Тепломассообмен»

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата распорядительного документа о внесении изменения)
1			
2			
3			