

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра строительства,
теплоэнергетики
и транспорта

Б1.О.15 ТЕПЛОМАССОБМЕН

*Методические указания к самостоятельной работе
по направлению подготовки
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (уровень бакалавриата),
профиль подготовки «Энергообеспечение предприятий»*

Мурманск
2020

Составитель – Караченцева Яна Марсильевна, старший преподаватель кафедры строительства, теплоэнергетики и транспорта Мурманского государственного технического университета

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой строительства, теплоэнергетики и транспорта

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	4
ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН.	6
ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	9
СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ.....	10

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания составлены на основе рабочей программы по дисциплине «Тепломассообмен», которая составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 № 143 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (уровень бакалавриата)», учебного плана в составе ОПОП по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», направленности (профилю) «Энергообеспечение предприятий», 2019 года начала подготовки.

Целью дисциплины «Тепломассообмен» является формирование профессиональных знаний о способах переноса тепла и видах тепло- и массообмена, методах расчета параметров при различных условиях передачи теплоты.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- Формирование систематизированных знаний о процессах теплообмена, происходящих в теплоэнергетических установках.
- Изучение методик расчета основных параметров теплоэнергетического оборудования.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные законы теплопроводности, конвективного теплообмена и излучения;
- назначение, классификацию, принцип работы, методы расчета теплообменных аппаратов.

Уметь:

- использовать основные законы теплопроводности, конвективного теплообмена, излучения при тепловых расчетах технологического оборудования;
- подтверждать инженерными расчётами соответствие теплового оборудования условиям технологического процесса;
- использовать математические модели термодинамических явлений и процессов для практических расчетов;
- рассчитывать потери тепловой энергии.

Владеть:

- основами теплового расчета теплообменных аппаратов;
- методами расчета теории подобия при обработке опытных данных.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (уровень бакалавриата):

Таблица 1 – Результаты обучения

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Индикаторы сформированности компетенций
1	ОПК-3. Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и	Компоненты компетенции реализуются полностью	ИОПК-3.3 Использует знание теплофизических свойств рабочих тел при расчетах теплотехнических установок и систем. ИОПК-3.6 Демонстрирует

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Индикаторы сформированности компетенций
	системах.		понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы.
2	ОПК-5. Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники.	Компоненты компетенции реализуются полностью	ИОПК-5.1 Выбирает средства измерения, проводит измерения электрических и неэлектрических величин, обрабатывает результаты измерений и оценивает их погрешность.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на виды учебной подготовки по формам обучения											
	Очная				Очно- заочная				Заочная			
	Л	ЛР	ПР	СР	Л	ЛР	ПР	СР	Л	ЛР	ПР	СР
Тема 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ. Основные понятия и определения.	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-
Тема 2. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ. Основные положения теплопроводности. Температурное поле, его характеристики. Градиент температуры, его знак и направленность. Уравнение теплопроводности (закон Фурье). Коэффициент теплопроводности, определение, размерность и физическая сущность, зависимость от внешних факторов. Теплопроводность через плоскую однослойную и многослойную стенку. Тепловой поток и термическое сопротивление. Теплопроводность через цилиндрическую однослойную и многослойную стенку.	5	10	7	7	2	5	3	15	1	6	4	25
Тема 3. КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН. Сущность конвективного теплообмена. Виды конвекции. Основные факторы, влияющие на теплоотдачу. Коэффициент теплоотдачи, определение, размерность. Уравнение теплоотдачи (Ньютона-Рихмана). Гидродинамический пограничный слой и его влияние на теплообмен.	5	10	7	7	2	5	3	15	1	-	-	25
Тема 4. ТЕОРИЯ ПОДОБИЯ. Условия однозначности для процессов теплообмена (геометрические, физические, граничные, временные). Четыре рода граничных условий. Критерии подобия. Критериальные уравнения для вынужденного и свободного движения теплоносителя. Гидродинамическое и тепловое подобие при свободном и вынужденном движении жидкости.	5	-	6	7	1	-	3	15	-	-	-	25

<p>Тема 5. ТЕПЛОТДАЧА. Теплоотдача при движении жидкости вдоль пластины. Распределение скоростей и температур теплоносителя. Теплоотдача при свободном движении жидкости относительно стенок. Теплоотдача при движении жидкости в трубах. Распределение скоростей и температур при ламинарном и турбулентном режимах. Теплоотдача при обтекании жидкостью одиночной трубы. Режимы движения и характер изменения коэффициента теплоотдачи. Теплоотдача при обтекании жидкостью пучка труб. Режимы движения и характер изменения коэффициента теплоотдачи.</p>	5	10	3	7	2	5	3	15	-	6	2	25
<p>Тема 6. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА. Теплопередача через плоскую однослойную и многослойную стенку. Тепловой поток и термическое сопротивление. Теплопередача через цилиндрическую однослойную и многослойную стенку. Тепловой поток и термическое сопротивление, температуры на границе слоев. Критический диаметр изоляции. Условие эффективной работы изоляции и методика подбора ее теплоизоляционных свойств. Пути интенсификации передачи теплоты через стенку.</p>	5	-	3	8	2	-	4	12	1	-	-	24
<p>Тема 7. ТЕПЛООБМЕН ПРИ ИЗМЕНЕНИИ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА. Теплообмен при кипении жидкости. Теплообмен при конденсации жидкости.</p>	3	-	4	8	2	-	4	18	1	-	-	19
<p>Тема 8. ТЕПЛООБМЕН ИЗЛУЧЕНИЕМ. Сущность теплообмена излучением. Излучательная, отражательная и поглощательная способность тела. Лучистый теплообмен между поверхностями тел. Приведённый коэффициент излучения, размерность. Приведённая степень черноты тел. Основные законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа). Коэффициент излучения, определение, размерность. Интенсивность и тепловой поток излучения. Особенности излучения и поглощения энергии газами. Излучение многоатомных газов. Тепловой поток и коэффициент теплоотдачи при излучении. Лучистый теплообмен между экранированными телами. Тепловой поток и оценка эффективности использования экранов.</p>	6	-	6	10	2	-	4	18	1	-	-	30

Тема 9. МАССООБМЕН. Основные понятия массообмена. Виды диффузий. Критерии подобия, используемые при расчете массообмена.	4	-	4	10	2	-	4	18	1	-	-	30
Тема 10. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ. Назначение, типы, основы теплового и гидравлического расчёта теплообменников. Определение поверхности нагрева теплообменника и конечных температур теплоносителей.	7	10	6	20	2	10	4	20	1	-	6	40
ИТОГО	46	40	46	84	18	20	32	146	8	12	12	243

ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнольд, Л. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для вузов / Л. В. Арнольд, Г. А. Михайловский, В. М. Селиверстов. - 2-е изд., перераб. - Москва : Высш. шк., 1979 - 446 с. : ил. - 43-00. 31.3 - А 84 (количество экземпляров – 111).
2. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учеб. пособие для вузов / В. В. Нащокин. - Изд. 4-е, стер. - [Москва] : Аз-book, 2008 - 468, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 463 - ISBN 978-5-904034-01-6 : 460-00. 31.3 - Н 37 (количество экземпляров – 93).
3. Толтов, В. М. Теплотехника : метод. указания к лаб. работам студентов для техн. направлений и специальностей / В. М. Толтов; Федер. агентство по рыболовству, ФГБОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т", Каф. энергетики и трансп. - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2013 - 107 с. : ил. - Библиогр.: с. 98 - 78-83. 31.3 - Т 54 (количество экземпляров – 99).
4. Теплотехника [Электронный ресурс] : метод. указания к лаб. работам студентов для техн. направлений и специальностей / Федер. агентство по рыболовству, ФГБОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т", Каф. энергетики и трансп. ; сост. В. М. Толтов. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 5.1 Мб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2013 - Доступ из локальной сети Мурман. гос. техн. ун-та. - Загл. с экрана. Т 34 http://elib.mstu.edu.ru/2013/M_13_103.pdf
5. Рабинович, О. М. Сборник задач по технической термодинамике : учеб. пособие для техникумов / О. М. Рабинович. - Изд. 5-е, перераб. - Москва : Альянс, 2015 - 344 с. + [1] отд. л. диагр. - ISBN 978-5-91842-085-1 : 640-00. 31.3 - Р 12 (количество экземпляров – 49).

СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ

Тема 1. Цели и задачи дисциплины

Основные понятия и определения.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое теория теплообмена?
2. Какие виды переноса теплоты Вы знаете?
3. Какие виды теплообмена Вы знаете?
4. Какие физические свойства жидкостей и газов необходимо знать для расчета процессов теплообмена?

Литература: [1], [2], [3], [4], [5]

Тема 2. Теплопроводность

Основные положения теплопроводности. Температурное поле, его характеристики. Градиент температуры, его знак и направленность. Уравнение теплопроводности (закон Фурье). Коэффициент теплопроводности, определение, размерность и физическая сущность, зависимость от внешних факторов. Теплопроводность через плоскую однослойную и многослойную стенку. Тепловой поток и термическое сопротивление. Теплопроводность через цилиндрическую однослойную и многослойную стенку.

Вопросы для самопроверки:

1. Какова сущность переноса теплоты теплопроводностью?
2. Определение температурного поля и изотермической поверхности. Каково поле при стационарном и нестационарном режиме?
3. Что такое температурный градиент, и каков его геометрический и физический смысл?
4. Основной закон теплопроводности. Каково направление теплового потока и градиента температуры?
5. Что характеризует коэффициент теплопроводности, каковы его размерность и физический смысл?
6. Определение теплоты и плотности теплового потока через плоскую и цилиндрическую стенки. Каков характер распределения температур в них?
7. Какова зависимость коэффициента теплопроводности от температуры?
8. Что такое температурный напор и как его определить для плоских и цилиндрических стенок?
9. Что такое термическое сопротивление и как его определить для плоских и цилиндрических стенок?

Литература: [1], [2], [3], [4]

Тема 3. Конвективный теплообмен

Сущность конвективного теплообмена. Виды конвекции. Основные факторы, влияющие на теплоотдачу. Коэффициент теплоотдачи, определение, размерность. Уравнение теплоотдачи (Ньютона-Рихмана). Гидродинамический пограничный слой и его влияние на теплообмен.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называется конвективным теплообменом?
2. Какие виды конвекции Вы знаете?
3. Как режим течения жидкости влияет на коэффициент теплоотдачи?
4. Приведите уравнение теплообмена. Какие величины в него входят? Их размерность, физический смысл.

Литература: [1], [2], [3], [4]

Тема 4. Теория подобия

Условия однозначности для процессов теплообмена (геометрические, физические, граничные, временные). Четыре рода граничных условий. Критерии подобия. Критериальные уравнения для вынужденного и свободного движения теплоносителя. Гидродинамическое и тепловое подобие при свободном и вынужденном движении жидкости.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие условия относятся к геометрическим для процессов теплообмена?
2. Какие условия относятся к физическим для процессов теплообмена?
3. Какие условия относятся к граничным?
4. Какие условия относятся к временным?
5. Приведите критерии гидродинамического подобия.
6. Приведите критерии теплового подобия.
7. Что такое критерий Нуссельта? Методы его определения.

Литература: [1], [2], [3], [4]

Тема 5. Теплоотдача

Теплоотдача при движении жидкости вдоль пластины. Распределение скоростей и температур теплоносителя. Теплоотдача при свободном движении жидкости относительно стенок. Теплоотдача при движении жидкости в трубах. Распределение скоростей и температур при ламинарном и турбулентном режимах. Теплоотдача при обтекании жидкостью одиночной трубы. Режимы движения и характер изменения коэффициента теплоотдачи. Теплоотдача при обтекании жидкостью пучка труб. Режимы движения и характер изменения коэффициента теплоотдачи.

Вопросы для самопроверки:

1. Как определяется эквивалентный диаметр для каналов некруглого сечения?
2. Какие уравнения подобия рекомендуются при ламинарном движении жидкости?
3. Какие уравнения подобия используются при турбулентном течении?
4. Какие типы пучков труб применяются в технике?
5. Какие критерии подобия применяются при расчете поперечного омывания пучков труб?
6. Какие критерии подобия используются для расчета теплоотдачи при свободном движении жидкости?

Литература: [1], [2], [3], [4]

Тема 6. Теплопередача

Теплопередача через плоскую однослойную и многослойную стенку. Тепловой поток и термическое сопротивление. Теплопередача через цилиндрическую однослойную и многослойную стенку. Тепловой поток и термическое сопротивление, температуры на границе слоев. Критический диаметр изоляции. Условие эффективной работы изоляции и методика подбора ее теплоизоляционных свойств. Пути интенсификации передачи теплоты через стенку.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие термические сопротивления учитываются при расчете теплопередачи?
2. Что такое критический диаметр изоляции?
3. Как подбирается тепловая изоляция?
4. Как интенсифицировать процесс теплообмена через стенку?

Литература: [1], [2]

Тема 7. Теплообмен при изменении агрегатного состояния вещества

Теплообмен при кипении жидкости. Теплообмен при конденсации жидкости.

Вопросы для самопроверки:

1. Где и как образуются пузырьки пара?
2. Какое кипение называют пузырьковым, а какое пленочным?
3. Какой момент кипения называют критическим?
4. Какие уравнения рекомендуются использовать для определения коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости?
5. Какие виды конденсации выделяют в теплотехнике?
6. От чего зависит коэффициент теплоотдачи при конденсации?
7. Какое уравнение подобия используется для расчета теплообмена при конденсации?
8. Как определяется масса образовавшегося конденсата?
9. Какое влияние оказывает на процесс конденсации расположение поверхностей теплообмена?

Литература: [1], [2]

Тема 8. Теплообмен излучением

Сущность теплообмена излучением. Излучательная, отражательная и поглощательная способность тела. Лучистый теплообмен между поверхностями тел. Приведенный коэффициент излучения, размерность. Приведенная степень черноты тел. Основные законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа). Коэффициент излучения, определение, размерность. Интенсивность и тепловой поток излучения. Особенности излучения и поглощения энергии газами. Излучение многоатомных газов. Тепловой поток и коэффициент теплоотдачи при излучении. Лучистый теплообмен между экранированными телами. Тепловой поток и оценка эффективности использования экранов.

Вопросы для самопроверки:

1. Объясните механизм передачи тепла излучением.

2. Что называется коэффициентом поглощения, отражения, пропускания?
3. Что называется абсолютно белой поверхностью, абсолютно черной, абсолютно прозрачной, диффузной и зеркальной?
4. Какой спектр излучения имеют твердые, жидкие и газообразные тела?
5. Сформулируйте основной закон поглощения.
6. Назовите и сформулируйте основные законы излучения.
7. Серые тела. Что называется степенью (коэффициентом) черноты тела?
8. Как определить тепловой поток при излучении между параллельными плоскими и цилиндрическими поверхностями?
9. Каково назначение экранов и как повысить эффективность их действия?
10. Как увеличить поглощение тепловой энергии при излучении.

Литература: [1], [2], [3], [4]

Тема 9. Массообмен

Основные понятия массообмена. Виды диффузий. Критерии подобия, используемые при расчете массообмена.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие виды диффузии Вы знаете?
2. Какие критерии подобия используются при расчете массообмена?

Литература: [1], [2]

Тема 10. Теплообменные аппараты

Назначение, типы, основы теплового и гидравлического расчёта теплообменников. Определение поверхности нагрева теплообменника и конечных температур теплоносителей.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие теплообменники относятся к рекуперативным?
2. Какие теплообменники относятся к регенеративным?
3. Какие теплообменники относятся к смешительным?
4. Какие теплообменники относятся к поверхностным?
5. Что такое прямоточное движение?
6. Что такое противоточное движение?
7. Что такое перекрестное движение?
8. Что такое водяной эквивалент?
9. Уравнение теплового баланса.
10. Уравнение теплопередачи.

Литература: [1], [2], [3], [4]