

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ))



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
высшего образования - программы бакалавриата
по направлению подготовки
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника,
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)
Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Тепломассообмен

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Направленность (профиль): Промышленная теплоэнергетика

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде
электронного документа выгружена из единой
корпоративной информационной системы управления
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)
ID подписи: 377843
Подписал: заведующий кафедрой Дмитренко Артур
Владимирович
Дата: 24.04.2024

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Тепломассообмен – учение о процессах переноса и распространения теплоты и массы вещества в пространстве с неравномерным распределением температуры и концентраций компонентов. Фундамент учения заложил еще М.В. Ломоносов, который создал механическую теорию теплоты и установил законы сохранения массы и энергии.

Без знания основ тепломассообмена невозможно создание современных тепловых установок (особенно силовых), проектирование систем производства, транспортирования, преобразования и потребления теплоты. В ряде случаев именно процессы тепло- и массообмена определяют выбор облика, массогабаритных характеристик и параметры тепловой установки.

Целью освоения учебной дисциплины «Тепломассообмен» является:

- изучение теоретических основ неравновесных процессов переноса и распространения теплоты и массы вещества в пространстве.

Задачами изучения дисциплины (модуля) являются:

- освоение методологии расчета температурных полей, потоков теплоты и массы вещества в процессах тепло - и массопереноса в разнообразных тепловых установках;

- формирование умений и навыков, необходимых для получения результатов решения задач тепло- и массопереноса в элементах тепловых установок и систем производства, транспортирования и потребления теплоты.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

ОПК-2 - Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения;

ПК-2 - Способность проводить расчеты по типовым методикам и проектировать отдельные детали и узлы с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

Знать:

- физические основы и основные законы тепло-и массопереноса в газообразных, жидких и твердых телах;
- методы и требования, соответствующие задачам проведения эксперимента по заданной методике.

Уметь:

- проводить расчеты по типовым методикам и проектировать отдельные детали и узлы с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием.
- решать типовые задачи стационарной и нестационарной теплопроводности;
- решать типовые задачи конвективного тепло-и массообмена;
- решать типовые задачи теплообмена излучением.

Владеть:

- знаниями и умениями на уровне, необходимом для решения задач тепло- и массообмена в элементах тепловых установок и систем;
- навыками анализа полученных результатов расчетов и/или экспериментов.
- навыками оформления результатов расчетов и/или экспериментов с использованием стандартных средств автоматизации проектирования.

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 8 з.е. (288 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов		
	Всего	Семестр	
		№3	№4
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	160	48	112
В том числе:			
Занятия лекционного типа	64	16	48
Занятия семинарского типа	96	32	64

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с

педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 128 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	ПЕРВЫЙ СЕМЕСТР. Общие представления о переносе теплоты и массы: - механизмы переноса теплоты; - скалярные и векторные поля физических величин; - плотности энергии и массы; - поверхности постоянного уровня и вектор-градиент.
2	Система уравнений, определяющая перенос массы и теплоты: - уравнения сохранения массы; - уравнения сохранения энергии; - уравнения движения вязкой среды; - условия однозначности.
3	Основы теплопроводности: - вектор плотности потока теплоты. Закон Фурье. - теплопроводность газов, жидкостей, твердых веществ; - дифференциальное уравнение теплопроводности.
4	Стационарные процессы теплопроводности: - одномерная теплопроводность в плоской стенке при отсутствии и наличии q_v ; - одномерная теплопроводность в цилиндрическом слое. Критический диаметр цилиндрической стенки; - одномерная теплопроводность в шаровом слое при отсутствии q_v ; - обобщенный метод решения задач теплопроводности; - испарительное охлаждение пористой пластины.
5	Интенсификация передачи теплоты оребрением: - теплопроводность в стержне постоянного сечения; - теплопередача стенки с прямоугольными плоскими ребрами. Коэффициент оребрения и эффективности ребра; - теплопроводность ребер другой формы.
6	Нестационарные процессы теплопроводности: - постановка и решение задачи охлаждения (нагрева) неограниченной плиты; - определение отданного (воспринятого) количества теплоты;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- охлаждение (нагревание) неограниченного цилиндра; - определение количества теплоты отданной (воспринятой) цилиндром; - охлаждение (нагревание) тел конечных размеров; - регулярный режим охлаждения (нагрева).
7	ВТОРОЙ СЕМЕСТР. Конвективный теплообмен в однофазной среде: - основные понятия и определения. Закон Ньютона-Рихмана; - ламинарное и турбулентное движение среды; - гидродинамический и тепловой пограничные слои. Аналогия Рейнольдса. - способы осреднения коэффициентов теплоотдачи и температуры потока жидкости. – физические свойства жидкости.
8	Основы теории подобия: - геометрическое подобие. Подобие физических величин и явлений; - относительная форма дифференциальных уравнений и условий однозначности; - симплексы и критерии подобия; - законы подобия. Значение теории подобия.
9	Теплоотдача при свободном движении жидкости: - в большом объеме около вертикальных и горизонтальных плит и цилиндров; - в ограниченном пространстве (горизонтальные, вертикальные и кольцевые слои).
10	Теплоотдача при вынужденном омывании плоской поверхности: - при ламинарном пограничном слое; - при турбулентном пограничном слое.
11	Сопротивление и теплоотдача при вынужденном течении: - в трубах; - при поперечном омывании отдельных труб; - при поперечном омывании коридорных и шахматных пучков труб; - при течении в круглых винтовых и шероховатых трубах.
12	Теплоотдача жидких металлов и хладагентов - теплоотдача жидких металлов при течении в трубах; - теплоотдача хладагентов при кипении.
13	Теплоотдача при изменении фазового состояния вещества: - виды фазовых превращений и фазовых переходов; - правило фаз и фазовые диаграммы веществ; - основные сведения о механизме и микрохарактеристиках кипения жидкостей; - кривые кипения и факторы, влияющие на теплоотдачу при кипении.
14	Теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости (свободная конвекция): - кризис теплоотдачи, пузырьковый и пленочный режимы кипения на поверхности; - критические плотности теплового потока ($q_{кр1}$, $q_{кр2}$), температурного напора и коэффициента теплоотдачи; - влияние различных факторов на величину $q_{кр1}$; - критериальные и размерные выражения для средней теплоотдачи при кипении; - теплоотдача при кипении на горизонтальных трубных пучках.
15	Кипение жидкости при движении внутри труб: - структура и режимы течения двухфазного потока в вертикальной трубе; - структура и режимы течения двухфазного потока в горизонтальной трубе; - расходные и истинные параметры двухфазного потока; - теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости в трубе. Влияние на теплоотдачу скорости циркуляции и теплового потока; - сопротивление при пузырьковом кипении жидкости в трубе.
16	Теплоотдача при конденсации пара: - основные сведения о конденсации паров. Пленочная и капельная конденсации;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- термическое сопротивление передаче теплоты и коэффициент конденсации; - Ламинарное и турбулентное течение пленки конденсата. Критическое число Рейнольдса; - теплоотдача при конденсации «неподвижного» пара на вертикальной поверхности и ламинарном / турбулентном течении пленки; - критериальная форма выражений для средней теплоотдачи и смешанном течении пленки; - теплоотдача при конденсации движущегося пара на внешней поверхности горизонтальной трубы и в пучке труб; - теплоотдача при конденсации движущегося пара внутри трубы; - конденсация перегретого и влажного пара, влияние неконденсирующихся газов.
17	Теплообмен излучением. Общие представления о переносе энергии излучением: - селективная и серая среда. Собственное излучение. Тепловое излучение; - абсолютно черная (атермичная) и абсолютно прозрачная (диатермичная) среды. Коэффициент собственного излучения среды; - интенсивность излучения. Плотность лучистой энергии. Вектор переноса лучистой энергии. Коэффициент поглощения среды. Уравнение переноса лучистой энергии.
18	Лучистое взаимодействие серой среды с твердой оболочкой: - абсолютно черная, белая и прозрачная поверхности. Закон Ламберта; - эффективное и результирующее излучения; - законы равновесного излучения: Кирхгофа, Планка, Релея-Джинса, Вина, Стефана-Больцмана; - понятие о лучистой температуре. Степени черноты физических тел и газов.
19	Отдельные задачи лучистого теплообмена в прозрачной среде: - теплообмен излучением между серыми плитами; - теплообмен излучением между серыми плитами при наличии экранов; - теплообмен излучением между серым телом и окружающей его оболочкой.
20	Теплообмен излучением между произвольно ориентированными серыми телами: - средние взаимные поверхности и угловые коэффициенты излучения; - геометрические свойства лучистых потоков; - методы определения угловых коэффициентов излучения.
21	Теплообмен излучением между газом и его оболочкой: - результирующий тепловой поток; - поглощательная способность газов; - степень черноты смеси газов; - понятие о сложном теплообмене.
22	Основы тепло-и массообмена в бинарных средах. Основные понятия: - концентрационная диффузия. Поток массы и плотность потока массы; - Закон Фика. Коэффициент молекулярной диффузии; - термодиффузия и бародиффузия; - вектор плотности теплового потока с учетом переноса массы; - дифференциальные уравнения тепло-и массообмена.
23	Конвективная тепло-и массоотдача в парогазовой среде (общие представления): - расчет тепло-и массоотдачи. Коэффициенты массоотдачи; - стефанов поток массы и уравнение Стефана. - диффузионный пограничный слой; - аналогия процессов теплоотдачи и массоотдачи. Примеры расчета массоотдачи.
24	Тепловой расчет теплообменных аппаратов (проектный и проверочный): - уравнения теплового теплового баланса и теплопередачи; - схемы движения теплоносителей (прямоток, противоток, перекрестный ток, др.); - определение среднего температурного напора; - расчет конечных температур теплоносителей;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- тепловой расчет рекуперативных и регенеративных теплообменных аппаратов; - интенсификация процессов теплообмена в теплообменниках.

4.2. Занятия семинарского типа.

Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	Определение коэффициентов теплопроводности металлов и сплавов Приобретение навыков измерения температуры, теплового потока, определения коэффициента теплопроводности металлов методом плоского слоя
2	Определение коэффициентов теплоотдачи при свободном движении воздуха около вертикального / горизонтального цилиндра Приобретение навыков измерения температур стенки, окружающей среды, передаваемого теплового потока, расчет теплоотдачи по уравнению Нуссельта
3	Определение коэффициентов теплоотдачи при свободном движении воздуха около вертикального / горизонтального диска Приобретение навыков измерения температур стенки, окружающей среды, передаваемого теплового потока, расчет теплоотдачи по уравнению Нуссельта, составление теплового баланса цилиндра
4	Определение коэффициентов теплоотдачи при вынужденном движении воздуха около вертикального / горизонтального цилиндра Изучение изменения коэффициента теплоотдачи от скорости набегающего воздушного потока. Приобретение навыков измерения температур стенки, окружающей среды, передаваемого теплового потока, расчет теплоотдачи по уравнению Нуссельта.
5	Определение коэффициентов теплоотдачи при вынужденном движении воздуха около вертикального / горизонтального диска Изучение влияния формы и положения тела в пространстве на коэффициент теплоотдачи. Изучение изменения коэффициента теплоотдачи от скорости набегающего воздушного потока. Приобретение навыков измерения температур стенки, окружающей среды, передаваемого теплового потока, расчет теплоотдачи по уравнению Нуссельта.
6	Определение коэффициентов теплоотдачи при движении воды в трубе Приобретение навыков измерения температур стенки и воды при движении внутри трубы, навыков расчета коэффициента теплоотдачи в жидкой среде
7	Определение коэффициента излучения твердого тела Измерение степени черноты различных тел путем сопоставления молекулярной и радиационной температуры поверхности
8	Определение коэффициента теплопередачи отопительного прибора Изучение процесса теплопередачи от горячей воды к воздуху через разделяющую их стенку отопительного прибора

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	СЕМЕСТР 1. Зависимость физических величин от температуры. Плотность энергии и массы. Приобретения умения определять физические свойства материалов по данным таблиц

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
2	Градиент температурного поля. Уравнения сохранения массы и энергии. Уравнения движения вязкой среды. Физический смысл условий однозначности/оценки и пояснения. Решение задач на основные понятия дисциплины
3	Одномерная теплопроводность в плоской стенке при отсутствии и наличии qv /расчет температур, тепловых сопротивлений и потоков Приобретение навыков расчетного определения температурных полей, плотности теплового потока, теплового потока, количества переданной теплоты (за интервал времени) в процессе стационарной теплопроводности через плоскую стенку
4	Одномерная теплопроводность в цилиндрическом слое/ Критический диаметр изоляции, расчет теплотерь трубы Приобретение навыков расчетного определения температурных полей, плотности теплового потока и линейной плотности теплового потока, количества переданной теплоты (за интервал времени) в процессе стационарной теплопроводности через цилиндрическую стенку. Навыки расчета толщины тепловой изоляции при нормировании теплотерь трубопровода
5	Передача теплоты через оребренную стенку/определение коэффициента эффективности ребра, кратности увеличения теплопередачи. Сравнительная оценка повышения теплоотдачи оребренных поверхностей по отношению к неоребренным.
6	Нестационарный процесс теплопроводности неограниченной плиты. Расчет температур в центре и на поверхности тела, времени охлаждения/охлаждения до заданной температуры, количества переданной теплоты.
7	Нестационарный процесс теплопроводности длинного цилиндра, ограниченного цилиндра, параллелепипеда. Расчет температур в центре и на поверхности цилиндра, параллелепипеда; времени охлаждения/охлаждения до заданной температуры, количества переданной теплоты. Определение температуры в центре и среднemasсовой при заданном времени охлаждения/нагрева
8	Регулярный режим при нагреве и охлаждении тел. Определение темпа охлаждения/нагрева по данным эксперимента, физических свойств материалов тел различной формы
9	СЕМЕСТР 2. Способы осреднения коэффициентов теплоотдачи и температуры потока жидкости. Ламинарное и турбулентное движение среды, определение физсвойств текучих сред по табличным данными, вычисление критерия Рейнольдса.
10	Теплоотдача при свободном движении жидкости в большом объеме и в ограниченном пространстве. Определение теплоотдачи цилиндров в воде и воздухе, в оконном переплете
11	Сопротивление и теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности Расчет локальной и средней теплоотдачи при продольно омывании плоской поверхности
12	Сопротивление и теплоотдача при вынужденном течении в трубах и каналах. Определение средней теплоотдачи и коэффициента сопротивления при движении жидкости в трубопроводе в ламинарном и турбулентном гидродинамических режимах
13	Сопротивление и теплоотдача при поперечном омывании отдельных труб и пучков труб. Определение средней теплоотдачи при поперечном омывании жидкостью коридорных и шахматных трубных пучков

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
14	Теплоотдачи при развитом пузырьковом кипении насыщенной жидкости на твердой вертикальной поверхности и свободном движении жидкости в большом объеме. Определение коэффициента теплоотдачи, первой критической мощности и теплового потока при пузырьковом кипении в большой объеме
15	Теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости при течении в трубе Определение критической плотности теплового потока ($q_{кр1}$, $q_{кр2}$), температурного напора и коэффициента теплоотдачи.
16	Теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости на трубных пучках Расчет теплоотдачи при кипении на горизонтальных трубных пучках.
17	Кипение жидкости при движении внутри труб. Расчет теплоотдачи при пузырьковом кипении воды в трубе, определение расходных параметров и гидравлического сопротивления.
18	Ламинарный и турбулентный теплообмен при пленочной конденсации «неподвижного» пара Определение теплоотдачи и плотности теплового потока на вертикальной поверхности.
19	Теплоотдача при пленочной конденсации движущегося пара Расчет теплоотдачи при движении внутри трубы, на внешней поверхности трубы и в пучке труб.
20	Законы равновесного излучения Применение законов Кирхгофа, Планка, Релея-Джинса, Вина, Стефана-Больцмана.
21	Теплообмен излучением между серыми плитами Вычисление лучистых потоков всех видов.
22	Теплообмен излучением между серыми телами при наличии экранов Оценка эффективности экранирования.
23	Теплообмен излучением между произвольно расположенными серыми поверхностями Определение угловых коэффициентов излучения.
24	Теплообмен излучением между газом и его оболочкой Определение результирующего потока от дымовых газов к газоходу
25	Конвективная тепло-и массоотдача в парогазовой среде Расчет массоотдачи при конденсации из парогазовой смеси
26	Конструкторский расчет теплообменных аппаратов Составление теплового баланса, определение средней логарифмической разности температур, теплопередачи, поверхности теплообмена.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Проработка лекционного материала.
2	Подготовка к лабораторным работам.
3	Подготовка к практическим занятиям.
4	Самостоятельное изучение некоторых тем.
5	Подготовка к промежуточной аттестации.
6	Подготовка к текущему контролю.

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Тепломассообмен: учебное пособие для вузов. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 561 с. ISBN: 978-5-383-00563-7	https://djvu.online/file/NfdTTARk91El5
2	Задачник по тепломассообмену: учебное пособие для вузов/3-е изд., стереот. Цветков Ф.Ф., Керимов Р.В., Величко В.И. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 195 с. ISBN: 978-5-38300-259-9	https://djvu.online/file/ALLn16ej0ljKi
3	Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена : учебник для вузов / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 308 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01738-0.	https://urait.ru/viewer/teplotehnika-v-2-t-tom-1-termodinamika-i-teoriya-teploobmena-560724#page/1
4	Термодинамика и теплопередача : учебное пособие / В. Г. Шахов. — Самара : Самарский университет, 2022. — 164 с. — ISBN 978-5-7883-1722-9.	https://e.lanbook.com/book/336659 (дата обращения: 24.01.2025).
5	Теплоэнергетика железнодорожного транспорта: справочно-методическое пособие для инженеров-теплотехников железнодорожного транспорта. М.: ФГБОУ, 2006. – 345с. ISBN: 5-79876-0114-9	Научно- техническая библиотека РУТ (МИИТ)
6	Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Теплотехника», «Термодинамика и теплопередача». Воронова Л.А., Гусев Г.Б., Костин А.В. М.: МИИТ, 2011. – 36 с.	Научно- техническая библиотека РУТ (МИИТ)
7	Термодинамика и тепломассообмен (основы теории, задачи и расчётные соотношения). Минаев Б.Н., Костин А.В., Воронова Л.А. М.: МИИТ, 2013. – 75 с.	Научно- техническая библиотека РУТ (МИИТ)
8	Термодинамика и теплопередача. Методические указания к курсовому проектированию. Минаев Б.Н., Костин А.В., Фроликов И.И., Воронова Л.А. М.: МИИТ, 2015. – 26 с.	Научно- техническая библиотека РУТ (МИИТ)

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (www.elibrary.ru).

Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miit.ru>).

ЭБС издательства «Лань» (<http://e.lanbook.com/>).

Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов (<http://www.window.edu.ru>)

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Используются возможности программного пакета Microsoft Office. Специализированная программа Mathcad. База тестовых заданий для контроля остаточных знаний по курсу в оболочке АСТ – МИИТ (100 заданий).

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

Аудитории для проведения лекций и практических занятий с мультимедийным оборудованием. Аудитории кафедры со стендами для проведения лабораторных работ.

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 3 семестре.

Экзамен в 4 семестре.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

старший преподаватель кафедры
«Теплоэнергетика транспорта»
Института транспортной техники и
систем управления

А.С. Селиванов

Согласовано:

Заведующий кафедрой ТТ
Председатель учебно-методической
комиссии

А.В. Дмитренко

С.В. Володин