

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДЕНА:

на заседании кафедры теплоэнергетики
Протокол №7 от 10 марта 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ТЕПЛОМАССООБМЕН / ENGINEERING HEAT AND MASS TRANSFER»

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Технологии и инжиниринг в теплоэнергетике

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Тепломассообмен» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ОПК ОС-3 Способность демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ОПК ОС-3.4, ОПК ОС-3.7
ОПК ОС-4 Способность проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники	ОПК ОС-4.4

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ОПК ОС-4.4	Способен выбрать метод измерения теплофизических параметров при экспериментальных исследованиях режимов работы теплотехнических установок	Знать методы и технологии измерения теплофизических параметров. Уметь обрабатывать результаты эксперимента. Владеть навыками работы с измерительными приборами различных систем, использованием различных электрических устройств
ОПК ОС-3.4	Применяет законы тепло- и массобмена и основные физико-математические модели переноса теплоты применительно к теплотехническим установкам и системам	Знать законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам системам. Уметь рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью интенсификации процессов тепломассообмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты; рассчитывать передаваемые тепловые потоки. Владеть основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического

		оборудования
ОПК ОС-3.7	<p>Рассчитывает и анализирует температурные поля в потоках теплоносителей с целью интенсификации процессов тепломассообмена, обеспечения температурного режима и оптимизации потерь теплоты при расчете, проектировании и испытании теплообменных аппаратов теплотехнических установок</p>	<p>Знать законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам.</p> <p>Уметь рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью интенсификации процессов тепломассобмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты; рассчитывать передаваемые тепловые потоки.</p> <p>Владеть основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования.</p>

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Тепломассообмен» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Физика», «Техническая термодинамика», «Математика»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Тепловые двигатели», «Тепломассообменные установки в теплоэнергетике и в промышленности», «Теория горения топлива»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 8 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)		
	Всего	Семестр № 3	Семестр № 4
Общая трудоемкость дисциплины	288	108	180
Аудиторные занятия, в том числе:			
лекции	64	32	32
лабораторные работы	32	0	32
практические/семинарские занятия	48	32	16
Самостоятельная работа (в	108	44	64

т.ч. курсовое проектирование)			
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	0	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет, Экзамен	Зачет	Экзамен

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 3

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля			
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)							
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	Введение.	1	2							Тест			
2	Теплопроводность	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	16			1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	20	1, 2, 3, 4	27	Решение задач, Контрольная работа, Проверочная работа, Отчет по лабораторной работе, Собеседование			
3	Конвективный теплообмен	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	14			9, 10, 11, 12, 13	12	2, 3, 4	17	Отчет по лабораторной работе, Решение задач, Проверочная работа, Контрольная работа, Собеседование			
	Промежуточная аттестация									Зачет			
	Всего		32				32		44				

Семестр № 4

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля			
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)							
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	Теплообмен при конденсации	1, 2, 3	6			2	3	3	1	Решение задач, Отчет по			

										лабораторной работе, Проверочная работа
2	Теплообмен при кипении	4	2	6	3			1, 3	4	Решение задач, Отчет по лабораторной работе
3	Теплообмен излучением	5, 6, 7, 8, 9	10	7, 8, 9	9	1	2	3, 4	7	Отчет по лабораторной работе, Решение задач, Контрольная работа, Собеседование
4	Теплообменные аппараты	10, 11, 12, 13, 14	10	10, 11	7	3, 4	9	2, 3, 4, 5	39	Отчет по лабораторной работе, Решение задач, Контрольная работа, Проверочная работа, Собеседование
5	Массообмен	15, 16	4			5	2	3	1	Решение задач
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен
	Всего		32		19		16		88	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 3

№	Тема	Краткое содержание
1	Введение.	Тепломассообмен, основные понятия. Механизмы переноса теплоты.
2	Теплопроводность	Дифференциальное уравнение теплопроводности. Стационарная теплопроводность. Нестационарная теплопроводность.
3	Конвективный теплообмен	Физическая модель конвективного теплообмена. Основы теории подобия. Теплоотдача при обтекании плоской поверхности. Теплоотдача при течении жидкости в трубах. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании одиночной трубы и пучка труб. Теплоотдача и расчёт коэффициентов теплоотдачи при свободном движении жидкости.

Семестр № 4

№	Тема	Краткое содержание
1	Теплообмен при конденсации	Теплообмен при конденсации пара. Плёночная и капельная конденсация. Теория Нуссельта.
2	Теплообмен при кипении	Режимы кипения в большом при движении в трубах. Коэффициенты теплоотдачи.
3	Теплообмен излучением	Теплообмен излучением между телами, разделёнными прозрачной (диатермичной) средой. Теплообмен излучением в излучающей и поглощающей среде.
4	Теплообменные аппараты	Общие сведения о теплообменных аппаратах. Расчет теплообменных аппаратов. Поверочный расчёт, Гидравлический расчёт теплообменного аппарата.
5	Массообмен	Уравнения теории массо- и теплообмена

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 4

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Определение теплопроводности твёрдых тел методом цилин-дрического слоя	4
2	Исследование температурных полей и эффективности рёбер (программа HEAT 3).	2
3	Определение коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции и теплоёмкости материала методом регулярного режима.	2
4	Определение коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции воздуха	3
5	Определение коэффициента теплоотдачи шара при вынужденной конвекции воздуха	2
6	Исследование теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости	3
7	Определение коэффициента излучения латуни методом сравнения	4
8	Определение степени черноты твердого тела калориметрическим методом	3
9	Исследование теплообмена излучением в закрытой осесимметричной системе серых тел (стандартная программа HEAT	2
10	Исследование процесса теплопередачи через стенку трубы от вынужденного потока воды в трубе к воздуху	5
11	Исследование теплообмена в теплообменном аппарате типа “труба в трубе” (стандартная программа HEAT 10	2

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 3

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Теплопроводность при граничных условиях I рода и $\lambda = \text{const}$	2
2	Теплопроводность при $\lambda = f(t)$	3
3	Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки	3
4	Расчёт, выбор и оценка тепловой изоляции	2
5	Теплопроводность рёбер и стержней	2
6	Теплопроводность плоской и цилиндрической стенок при наличии внутренних источников теплоты	2
7	Контрольная по стационарной теплопроводности	2
8	Расчёт температурного поля тел при охлаждении	4
9	Конвективный теплообмен. Теория подобия	3
10	Теплообмен при вынужденном омывании плоской поверхности ... Теплообмен при течении жидкости в трубах	3
11	Теплообмен при поперечном обтекании труб и пучков труб	2
12	Теплообмен при свободной конвекции	2
13	Контрольная работа по конвективному теплообмену	2

Семестр № 4

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Теплообмен излучением в прозрачной и поглощающей среде	2
2	Теплообмен при кипении и конденсации	3
3	Тепловой расчёт рекуперативных теплообменных аппаратов	7
4	Контрольная работа	2
5	Конвективный тепло- и массообмен	2

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 3

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Подготовка к зачёту	4
2	Подготовка к контрольным работам	10
3	Подготовка к практическим занятиям	16
4	Расчетно-графические и аналогичные работы	14

Семестр № 4

№	Вид СРС	Кол-во академических часов

		часов
1	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	3
2	Подготовка к контрольным работам	5
3	Подготовка к практическим занятиям	9
4	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	21
5	Расчетно-графические и аналогичные работы	26

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Мастер-класс

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Домрачев Б.П. Теплопроводность. Сборник задач для студентов теплотехнических и теплоэнергетических специальностей// Б.П.Домрачев – Иркутск: ИрГТУ, 2011. – 27 с.
Краснощёков Е.А. Задачник по теплопередаче// Е.А. Краснощёков, А.С. Сукомел– М.: Энергия. 1980. – 288 с.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Ощепков В.В. Тепломассообмен. Лабораторный практикум // Б.П.Домрачев, С.Д.Иванов –. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2024. 56 с.
Домрачев Б.П. Тепломассообмен. Метод. указания по выполнению лаб. раб. на ЭВМ // Б.П.Домрачев, С.Д.Иванов–. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. 29 с.

5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Тепломассообмен. Методические указания к расчетно-графическим работам// Составители: Б.П. Домрачев, С.Д. Иванов. Иркутск: – Изд-во ИрГТУ, 2011. – 24 с.
Тепловой конструктивный расчёт вертикального кожухотрубчатого холодильника для охлаждения дисперсных материалов. Методические указания по выполнению курсовой работы// Составители Б.П.Домрачев, А.Ф.Сутормин– Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. - 22 с.
Тепловой расчёт пароводяных теплообменных аппаратов ТЭС. Методические указания по выполнению курсовой работы// Составитель Б.П. Домрачев– Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. - 28 с.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 3 | Тест

Описание процедуры.

6 вопросов за 5 минут. В каждом вопросе несколько вариантов ответа. Нужно выбрать верный ответ.

Критерии оценивания.

Минимум четыре из шести

6.1.2 семестр 3 | Решение задач

Описание процедуры.

Домашние задания по данным темам.

Критерии оценивания.

Проверка правильности ответов.

6.1.3 семестр 3 | Проверочная работа

Описание процедуры.

РГР расчёт плоской стенки

РГР Теория подобия. Критериальное уравнение.

Критерии оценивания.

Проверка правильности расчетов и графических построений. Ответы на вопросы.

6.1.4 семестр 3 | Контрольная работа

Описание процедуры.

3 задачи

Критерии оценивания.

Минимум 2 задачи.

6.1.5 семестр 3 | Отчет по лабораторной работе

Описание процедуры.

1. Подготовка к лабораторной работе.

2. Обработка, полученных экспериментальных измерений.

Критерии оценивания.

1. Оценка готовности к выполнению лабораторной работы.

2. Анализ полученных результатов.

6.1.6 семестр 3 | Собеседование

Описание процедуры.

1. Обсуждение решений домашних задач.

2. Обсуждение анализа экспериментальных результатов лабораторных работ.

Критерии оценивания.

Уровень владения теоретическим материалом по данной теме. Знание и умение пользоваться таблицами и правильное использование терминологии.

6.1.7 семестр 4 | Решение задач

Описание процедуры.

Домашние задания по данным темам

Критерии оценивания.

Проверка правильности ответов.

6.1.8 семестр 4 | Контрольная работа

Описание процедуры.

3 задач

Критерии оценивания.

Минимум 2 задачи.

6.1.9 семестр 4 | Проверочная работа

Описание процедуры.

Итоговая РГР по теме Регенеративные и сетевые теплообменники ПТУ.

Критерии оценивания.

Проверка правильности расчетов и графических построений. Ответы на вопросы.

6.1.10 семестр 4 | Отчет по лабораторной работе

Описание процедуры.

1. Подготовка к лабораторной работе.
2. Обработка, полученных экспериментальных измерений.

Критерии оценивания.

1. Оценка готовности к выполнению лабораторной работы.
2. Анализ полученных результатов.

6.1.11 семестр 4 | Собеседование

Описание процедуры.

1. Обсуждение решений домашних задач.
2. Обсуждение анализа экспериментальных результатов лабораторных работ.

Критерии оценивания.

Уровень владения теоретическим материалом по данной теме. Знание и умение пользоваться таблицами и правильное использование терминологии.

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ОПК ОС-4.4	Демонстрирует знание методов и техноло-гий измерения теплофизических параметров, обрабатывает результаты экспери-мента. Знает основы теории эксперимента. Применяет теорию подобия и методы обработки экспериментальных данных	Отчеты по лабораторным работам. Защита лабораторных работ. Выполнение РГР
ОПК ОС-3.4	Демонстрирует умение решать задачи и проводить простые расчеты с применением основных законов теплообмена	Конспект лекций, выполнение практических заданий в виде РГР, выполнение контрольных работ, зачет в виде решения задач или тестирования
ОПК ОС-3.7	Демонстрирует умение решать задачи и проводить простые расчеты с применением основных законов теплообмена. Владеет терминологией, определениями, знает основные законы теплообмена.	Конспект лекций, выполнение практических заданий в виде РГР, выполнение и защита лабораторных работ, выполнение контрольных работ, решение задач и устный опрос на экзамене

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 3, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Решение задачи уровня домашней контрольной.

Пример задания:

1.8. Определить коэффициент теплопередачи от греющей среды (пара) к нагреваемой среде (воздуху или кипящему раствору) через стенку стальной трубы толщиной 2мм для воздушно-парового калорифера и для выпарного аппарата при заданных коэффициентах теплоотдачи $2\text{Вт/м}^2\text{К}$. Как изменится коэффициент теплопередачи (k_2/k_1) если заменить стальные трубы на: медные (М), алюминиевые (А), латунные (Л) или дюоралюминиевые (Д) ?

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не засчитано
Получен правильный ответ и сделаны верные выводы по полученным результатам.	Не получен верный ответ.

6.2.2.2 Семестр 4, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.2.1 Описание процедуры

3 задания:

1. Теоретический вопрос.
2. Две задачи.

Пример задания:

1. Механизмы передачи теплоты. Основные понятия и определения теплопередачи: тепловой поток, плотность теплового потока, температурное поле, изотермические поверхности.
2. Определить теплоту излучения 1 м неизолированного трубопровода диаметром 25 мм, если температура его поверхности 57°C , а температура стен помещения 27°C . Степень черноты поверхности трубы равна 0,8.
3. К медной пластине размером $0,2 \times 0,5 \text{ м}$ и толщиной 20 мм с одной стороны подводится теплота. Другая сторона охлаждается потоком воды, которая при расходе $0,3 \text{ кг/с}$ нагревается от пластины на 5°C . Найти перепад температур между поверхностями пластины. Теплоемкость воды $4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$, теплопроводность меди $400 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

6.2.2.2.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Правильный и полный ответ на все вопросы.	Правильный, но полный ответ на все вопросы. Плохое владение терминологией.	Ответ на два вопроса.	Ответ на один вопрос.

7 Основная учебная литература

1. Авчухов В. В. Задачник по процессам тепломассообмена : учеб. пособие для вузов по специальности "Пром. теплоэнергетика" / В. В. Авчухов, Б. Я. Паюсте, 1986. - 141 с.
2. Исаченко В. П. Теплопередача : учебник для теплоэнергетических специальностей вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел, 2014. - 416 с.

3. Цветков Ф. Ф. Тепломассообмен : учебное пособие для вузов по энергетическим специальностям / Ф. Ф. Цветков, 2006. - 548 с.
4. Цветков Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : учебное пособие для вузов по направлению подготовки 140100 "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко, 2008. - 195 с.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Краснощеков, Евгений Александрович . Задачник по теплопередаче : для теплоэнерг .спец. вузов / Евгений Александрович Краснощеков, Александр Семенович Сукомел, 1980.
- 287 с
2. Теплоэнергетика и теплотехника: Общие вопросы : справочник / Под общей ред. В. А.Григорьева, В. М. Зорина, 1987. - 455
3. Кутателадзе, Самсон Семенович . Теплопередача и гидродинамическое сопротивление :справ. пособие / Самсон Семенович Кутателадзе, 1990. - 365 с

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Excel Link concurrent AcademicEdition
2. Свободно распространяемое программное обеспечение Word
3. Свободно распространяемое программное обеспечение Microsoft Office

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Комплект лабораторного оборудования №1 в составе
2. Комплект лабораторного оборудования №2 в составе
3. Комплект лабораторного оборудования №3 в составе
4. Microsoft Office
5. Профессиональные базы данных