

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
 «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
 Директор ИИПЭ

А.С. Матвеев

«26» 06 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2017 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

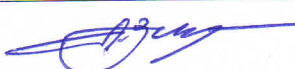
Тепломассообмен в энергетическом оборудовании

Направление подготовки/специальность	13.03.03 Энергетическое машиностроение		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Энергетическое машиностроение		
Специализация	Котлы, камеры сгорания и парогенераторы АЭС		
Уровень образования	высшее образование – бакалавриат		
Курс	3	семестр	5
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	3		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	16	
	Практические занятия	16	
	Лабораторные занятия	–	
	ВСЕГО	32	
Самостоятельная работа, ч		76	
ИТОГО, ч		108	

Вид промежуточной аттестации

Зачет	Обеспечивающее подразделение	НОЦ И.Н. Бутакова
-------	------------------------------	----------------------

Заведующий кафедрой –
 руководитель НОЦ И.Н.
 Бутакова на правах кафедры
 Руководитель ООП
 Преподаватель

	А.С. Заворин
	Т.С. Тайлашева
	Б.В. Борисов

2020 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 6. Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Результаты освоения ООП	Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций)	
			Код	Наименование
ОПК(У)-3	Способностью демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках	Р7	ОПК(У)-3.В5	Владеет опытом анализа явлений и процессов в теплоэнергетических и теплотехнических системах, аппаратах и агрегатах
			ОПК(У)-3.У5	Умеет выявлять сущность термодинамических, тепломассообменных, гидрогазодинамических явлений и процессов и применять для их расчета соответствующие законы
			ОПК(У)-3.35	Знает основные физические явления и законы технической термодинамики, тепломассообмена, гидрогазодинамики и их математическое описание
			ОПК(У)-3.В6	Владеет опытом использования знаний теплофизических свойств рабочих тел и теплоносителей при расчетах теплоэнергетических и теплотехнических установок и их оборудования
			ОПК(У)-3.У6	Умеет использовать знания теплофизических свойств рабочих тел и теплоносителей при расчетах теплоэнергетических и теплотехнических установок и их оборудования
			ОПК(У)-3.36	Знает теплофизические свойства рабочих тел и теплоносителей
			ОПК(У)-3.В7	Владеет опытом исследования и расчетов процессов и циклов преобразования энергии и передачи теплоты
			ОПК(У)-3.У7	Умеет проводить исследования и расчет процессов и циклов преобразования энергии и передачи теплоты
			ОПК(У)-3.37	Знает методы исследования и методики расчета процессов и циклов преобразования энергии и передачи теплоты

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к базовой части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Компетенция
Код	Наименование	
РД1	Знать, понимать и уметь пользоваться основными понятиями, определениями тепломассообмена и процессов переноса теплоты.	ОПК(У)-3
РД2	Использовать методы анализа полей температур при различных процессах тепломассопереноса.	ОПК(У)-3
РД3	Использовать методики экспериментальной оценки параметров тепломассопереноса.	ОПК(У)-3
РД4	Использовать методы определения тепловых потоков применительно к основным теплотехническим приборам.	ОПК(У)-3

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

4. Структура и содержание дисциплины

Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел 1. Основные понятия теплообмена. Теплопроводность	РД1	Лекции	4
	РД2	Практические занятия	4
	РД3	Лабораторные занятия	–
	РД4	Самостоятельная работа	20
Раздел 2. Конвективный теплообмен	РД1	Лекции	4
	РД2	Практические занятия	4
	РД3	Лабораторные занятия	–
	РД4	Самостоятельная работа	20
Раздел 3. Теплообмен излучением	РД1	Лекции	4
	РД2	Практические занятия	4
	РД3	Лабораторные занятия	–
	РД4	Самостоятельная работа	20
Раздел 4. Теплопередача со сложным теплообменом	РД1	Лекции	4
	РД2	Практические занятия	4
	РД3	Лабораторные занятия	–
	РД4	Самостоятельная работа	16

Раздел 1. Основные понятия теплообмена. Теплопроводность

Предмет и задачи теории теплообмена. Основные процессы передачи теплоты и массы. Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, излучение. Теплоотдача. Теплопередача. Макроскопический характер учения о теплоте. Современные проблемы теплообмена. Вклад отечественных ученых в развитие теплообмена.

Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Механизм передачи теплоты в металлах, диэлектриках, жидкостях и газах. Основные понятия и определения конвективного теплообмена. Закон Ньютона–Рихмана. Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи. Теплообмен излучением. Понятие о сложном теплообмене.

Теория теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Коэффициент температуропроводности.

Теплопроводность при стационарном режиме. Передача теплоты через однослойную и многослойную плоские стенки при граничных условиях I рода. Распределение температур при переменном и постоянном коэффициенте теплопроводности. Передача теплоты через однослойную и многослойную цилиндрическую стенки при граничных условиях I и III рода. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Передача теплоты через шаровую стенки.

Способы интенсификации процессов теплопередачи. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения. Теплопередача через плоскую ребристую стенку. Связь вопросов интенсификации и энергетических ресурсов и повышения эффективности производства. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты. Теплопроводность в неограниченной плоской стенке и круглом стержне в случае постоянного коэффициента теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты. Теплопроводность в неограниченной цилиндрической стенке при наличии внутренних источников теплоты и:

- а) отводе теплоты через наружную поверхность;
- б) отводе теплоты через внутреннюю поверхность;
- в) отводе теплоты через наружную и внутреннюю поверхности.

Теплопроводность при нестационарном тепловом режиме. Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме. Теплопроводность тонкой пластины, длинного цилиндра при граничных условиях III рода. Анализ решений, частные случаи.

Нагревание (охлаждение) параллелепипеда и цилиндра конечной длины. Определение количества теплоты, отдаваемого или воспринимаемого телом в процессе нестационарной теплопроводности. Регулярный режим нагревания (охлаждения) тел. Численные методы решения задач теплопроводности. Использование современной вычислительной техники.

Темы лекций:

1. Основные понятия теплообмена.
2. Теплопроводность. Способы интенсификации процессов теплопередачи.

Темы практических занятий:

1. Расчеты теплопроводности и теплопередачи плоской стенки.
2. Расчеты теплопроводности и теплопередачи цилиндрической стенки.
3. Расчеты теплопроводности и теплопередачи ребренных стенок.
4. Расчеты теплопроводности тел с внутренними источниками теплоты.
5. Расчеты нестационарной теплопроводности.

Раздел 2. Конвективный теплообмен
--

Основные положения конвективного теплообмена. Теплоотдача в однофазных жидкостях, при фазовых и химических превращениях, при вынужденной и естественной конвекции. Физические свойства жидкостей и газов, существенные для процессов течения и теплоотдачи. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях жидкости. Динамический и тепловой пограничный слой. Основные допущения теории плоского пограничного слоя. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена, условия однозначности.

Основы метода подобия и моделирования. Пи-теорема, приведение уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду. Числа подобия. Общие условия под-бия физических процессов, свойства подобных процессов. Сущность моделирования. Обобщение опытных данных и получение эмпирических зависимостей.

Свободно-конвективный теплообмен в однофазной среде. Теплоотдача при свободном течении жидкости у вертикальной стенки, вблизи горизонтальных труб и пластин. Анализ задачи о конвективном теплообмене при свободном движении жидкости методом подобия. Расчетные уравнения для теплоотдачи. Теплообмен при свободной конвекции в замкнутых объемах.

Теплоотдача при вынужденном течении однофазной среды. Продольное обтекание плоской поверхности. Характер вынужденного неизотермического течения и теплообмена на плоской поверхности. Теплоотдача при ламинарном течении в пограничном слое, метод теоретического расчета; расчетные уравнения, полученные опытным путем. Теплоотдача при турбулентном течении в пограничном слое. Осреднение уравнений неразрывности, движения и энергии для турбулентных потоков; коэффициенты турбулентного переноса количества движения и теплоты Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании труб и пучков труб.

Течения и теплообмен при движении жидкометаллических теплоносителей. Теплоотдача при больших скоростях. Результаты решения уравнений пограничного слоя. Критериальные уравнения. Аэродинамическое нагревание.

Конвективный теплообмен при вынужденном течении однофазной среды в трубах. Особенности течения и теплообмена. Начальные участки гидродинамической и тепловой стабилизации. Стабилизированное течение. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном течении жидкости в трубах. Методы расчета теплообмена с использованием современной вычислительной техники.

Теплообмен при конденсации пара. Пленочная и капельная конденсация. Конденсация пара на вертикальных стенках. Теплоотдача при ламинарном течении пленки. Метод теоретического расчета. Влияние различных факторов на теплоотдачу. Теплоотдача при смешанном режиме стекания пленки конденсата; метод расчета; расчетные уравнения для теплоотдачи. Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках труб. Характер

обтекания конденсатом пучков труб, изменение теплоотдачи по рядам, влияние скорости пара и других факторов. Расчет теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальных пучках труб.

Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Механизм переноса теплоты при кипении. Влияние смачиваемости стенки жидкостью, краевого угла. Рост, отрыв и движение пузырей пара. Минимальный радиус центра парообразования; число действующих центров парообразования. Режимы кипения жидкости в большом объеме. Кривая кипения при «паровом» и «электрическом» обогреве. Первая и вторая критические плотности теплового потока. Расчет критических тепловых нагрузок. Зависимость коэффициента теплоотдачи от давления, физических свойств жидкости, состояния поверхности и других факторов при кипении в большом объеме. Теплообмен при кипении жидкости в трубах; зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости циркуляции, плотности теплового потока и других факторов. Расчет теплоотдачи в трубах.

Конвективный тепло- и массообмен. Основные положения теории массообмена. Концентрационная термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Факторы, влияющие на коэффициент диффузии. Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена. Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений диффузионного пограничного слоя. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Коэффициент массоотдачи. Применение методов подобия и размерностей к процессам массообмена. Диффузионное число Нуссельта, диффузионное число Прандтля. Аналогия процессов тепло- и массообмена.

Темы лекций:

1. Основные положения конвективного теплообмена.
2. Теплообмен при конденсации пара и кипении однокомпонентных жидкостей.

Темы практических занятий:

1. Расчеты теплопередачи через плоские и цилиндрические стенки, с различными механизмами и режимами теплоотдачи на поверхностях. Без учета и учетом фазовых превращений. Расчеты теплопроводности и теплопередачи плоской стенки.

Раздел 3. Теплообмен излучением
--

Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Лучистый поток. Плотность лучистого потока. Интенсивность излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способность тел. Законы излучения абсолютно черного тела: Стефана – Больцмана, Планка, Вина. Серое тело. Степень черноты. Закон Кирхгофа для монохроматического и интегрального излучения. Закон Ламберта.

Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой. Виды лучистых потоков, их взаимная связь. Интегральные уравнения излучения. Угловые коэффициенты и взаимные поверхности. Определение угловых коэффициентов. Метод Поляка. Зональный метод расчета теплообмена излучением. Расчет теплообмена излучением в системе двух и более тел.

Особенности теплообмена излучением в поглощающих средах, теплообмена излучением между излучающим газом или паром и теплообменной поверхностью.

Темы лекций:

1. Природа теплового излучения.
2. Особенности теплообмена излучением.

Темы практических занятий:

1. Расчеты теплообмена излучением системы тел, разделенных диатермической средой.
2. Расчеты теплообмена излучающего газа с поверхностью.

Раздел 4. Теплопередача со сложным теплообменом

Теплопередача со сложным теплообменом. Сложный теплообмен как совокупность одновременно протекающих процессов теплопроводности, конвекции и излучения. Теплопередача со сложным теплообменом на границах: расчет теплотерь трубопроводов, газоходов и т.п., расчет теплопередачи в пучках трубок; расчет сложного теплообмена внутренних поверхностей каналов с движущимся внутри них диатермичным газом при неодинаковых температурах стенок.

Теплообменные аппараты. Общие сведения. Назначения теплообменников. Их классификация по принципу действия. Основы теплового и гидравлического расчета теплообменников; конструкторский и поверочный расчет. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. Средний температурный напор. Определение среднего температурного напора для основных схем движения теплоносителей. Сравнение прямого и противотока. Определение поверхности теплообмена при переменном коэффициенте теплопередачи. Вычисление конечной температуры теплоносителей. Выражение для полного падения давления в теплообменнике. Затраты напора, обусловленные ускорением потока и преодолением гидростатического давления столба жидкости. Мощность, необходимая для перемещения теплоносителя.

Темы лекций:

1. Теплопередача со сложным теплообменом.
2. Методы расчета сложного теплообмена.

Темы практических занятий:

1. Расчеты теплообменных аппаратов.

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Подготовка к практическим занятиям;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература

1. Шаров Ю.И., Григорьева О.К. Тепломассообмен: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Новосибирск: НГТУ, 2018. – 164 с. – Схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/118187>.
2. Архипов В.А. Физико-технические основы процессов тепломассообмена: учебное пособие [Электронный ресурс]; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 1 компьютерный файл (pdf; 2.3 MB). – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная версия печатной публикации. – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. – Системные требования: Adobe Reader. – Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2014/m051.pdf>.
3. Бабук В.А., Леонов А.Ф., Родионов Г.В. Сборник задач по теплопередаче [Электронный ресурс]. – 3-е перераб. и доп. – Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. – 68 с. – Схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/122041>.

Дополнительная литература

1. Никифоров А.И. Термодинамика и теплопередача: учебное пособие. Ч. 1. – Санкт-Петербург: СПбГУ ГА, 2014. – 206 с. – Схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/145589>.
2. Козлов В.Г. Тепломассообмен [Электронный ресурс]. – Москва: ТУСУР, 2012. – 15 с. – Схема доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=10863.
3. Дюкова И.Н. Тепломассообмен. Экспериментальное исследование характеристик теплообмена: учебное пособие для студентов направления подготовки 13.03.01 (140100.62) теплоэнергетика и теплотехника [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2015. – 32 с. – Схема доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71868.
4. Transferts de chaleur = Теплопередача [Электронный ресурс]; Par. Tchernogorov E.P. – Челябинск: ЮУрГАУ, 2011. – 65 с. – Схема доступа: https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=9665.
5. Краснощеков Е.А. Задачник по теплопередаче: учебное пособие / Е.А. Краснощеков, А.С. Сукомел. – 4-е изд., перераб. – Репр. изд. – Москва: Транспортная компания, 2016. – 287 с. (<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU/TPU/book/341815>).
6. Коновалова Л.С., Загромов Ю.А. Теоретические основы теплотехники. Примеры и задачи. Учебн. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 115 с. (<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU/TPU/book/27948>).
7. Цветков Ф.Ф. Задачник по тепломассообмену: учебное пособие для вузов / Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. – 3-е изд., стер.. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2010. – 195 с. (<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU/TPU/book/238167>).
8. Борисов Б.В. Практикум по технической термодинамике [Электронный ресурс]: учебное пособие / Б.В. Борисов, А.В. Крайнов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИИ), Кафедра теоретической и промышленной теплотехники (ТПТ). – 1 компьютерный файл (pdf; 4.1 МВ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ из корпоративной сети ТПУ. – Системные требования: Adobe Reader. – Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2012/m410.pdf>.

6.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. Электронная библиотека Томского политехнического университета (<http://catalog.lib.tpu.ru>).
2. Архив научных журналов «Neicon» (<http://archive.neicon.ru>);
3. Поисковая система Федерального института промышленной собственности по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (<http://www1.fips.ru>);
4. Электронная библиотека института инженеров электротехники и электроники «IEEE» (<http://ieeexplore.ieee.org>).

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. Microsoft Office 2016 Standard Russian Academic;
2. PTC Mathcad 15 Academic Floating;
3. LibreOffice.

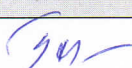
7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (учебная лаборатория) 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 403	Котел Vitodent 100-W 26 кВт, одноконтурный с блоком управления и арматурой - 1 шт.; Стенд имитационный системы отопления и ГВС с напольным котлом - 1 шт.; Стенд имитационный системы отопления и ГВС с навесным котлом - 1 шт.; Доска аудиторная поворотная - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 48 посадочных мест; Зонт вытяжной - 2 шт.; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 47	Комплект учебной мебели на 36 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.
3.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 41	Доска аудиторная настенная - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 36 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 13.03.03 Энергетическое машиностроение, специализация «Котлы, камеры сгорания и парогенераторы АЭС» (приема 2017 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	Подпись	ФИО
Профессор		Б.В. Борисов

Программа одобрена на заседании кафедры ТПТ(протокол от 05.06.2017 г. № 12).

Заведующий кафедрой – руководитель
НОЦ И.Н. Бутакова на правах кафедры,
д.т.н, профессор


А.С. Заворин
подпись

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании НОЦ И.Н. Бутакова (протокол)
2018/2019 уч. год	Внесены изменения в разделы: Структура и содержание дисциплины; Учебно-методическое обеспечение; Материально-техническое обеспечение дисциплины.	Протокол №11 от 27.08.2018
2019/2020 уч. год	Внесены изменения в разделы: Структура и содержание дисциплины; Учебно-методическое обеспечение; Материально-техническое обеспечение дисциплины.	Протокол №29 от 30.05.2019
2020/2021 уч. год	Внесены изменения в разделы: Структура и содержание дисциплины; Учебно-методическое обеспечение; Материально-техническое обеспечение дисциплины.	Протокол №44 от 26.06.2020