

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора

по учебной и воспитательной работе

МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ



И. Э. Бученков
И. Э. Бученков

2021 г.

Регистрационный № УД-93521уч.

ТЕПЛОТЕХНИКА

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине
для специальности:

1-100 01 01 «Ядерная и радиационная безопасность»

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования (ОСВО) 1-100 01 01-2013 от 27.12.2013 и учебного плана рег. №46-14/уч. от 01.09.2014 по специальности 1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность

СОСТАВИТЕЛЬ:

Ю. М. Шуля, старший преподаватель кафедры энергоэффективных технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» БГУ

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергоэффективных технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» БГУ
(протокол № 14 от 11.06.2021 г.);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» БГУ
(протокол № 10 от 24.06.2021г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Теплотехника – это общепромышленная дисциплина, изучающая методы получения, преобразования, передачи и использования теплоты и связанных с этим аппаратов и устройств. Техническая термодинамика и теория теплообмена совместно являются теоретической основой теплотехники. Техническая термодинамика изучает закономерности взаимного превращения тепловой и механической энергии и свойства тел, участвующих в этих превращениях. На ее основе осуществляется расчет и проектирование всех тепловых двигателей и всевозможного технологического оборудования. Закономерности переноса теплоты и количественные характеристики этого процесса являются предметом исследования теории теплообмена (теплопередачи).

Цель учебной дисциплины – формирование у студентов системы профессиональных знаний, умений и практических навыков в области физических законов переноса теплоты и массы, необходимых для проведения расчетов самых разнообразных теплообменных аппаратов и различных процессов, связанных с нагреванием и охлаждением реальных тел.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение термодинамических законов и процессов;
- изучение свойств рабочих тел;
- овладение закономерностями основных процессов переноса тепловой энергии и массы, протекающих в теплообменных аппаратах;
- овладение основами расчета теплообменных аппаратов.

В результате изучения дисциплины студент должен

иметь представление:

- об основах термодинамической теории гетерогенного равновесия и правилах фаз Гиббса;
- о принципах построения фазовых диаграмм состояния одно-, многокомпонентных систем;
- об основных видах теплообмена;
- о теплообмене в однофазных потоках и потоках с фазовыми превращениями;
- о тепловом и гидравлическом расчетах теплообменных аппаратов и ядерных реакторов;

знать:

- основы теории переноса внутренней энергии и вещества в больших системах;
- основные способы моделирования процессов теплообмена;

– основные подходы к описанию тепло- и массообмена в ядерных установках;

владеть:

– методами расчета и выбора эффективных теплоэнергетических агрегатов и устройств;

– методами расчета тепловых потерь при производстве, транспортировке и использовании теплоты;

– приемами постановки инженерных задач и их решения:

уметь:

– использовать типовые методы измерения теплофизических параметров оборудования и установок, используемых на атомных станциях;

– производить типовые теплофизические расчеты, в том числе параметров защитных тепловых покрытий.

Изучение учебной дисциплины «Теплотехника» базируется на знаниях, полученных при изучении учебных дисциплин «Высшая математика», «Физика», «Механика сплошной среды».

Для формирования современных компетенций будущего специалиста в практику проведения занятий целесообразно внедрять методики и технологии активного обучения, которые вовлекают студентов в поиск и управление знаниями, приобретению опыта самостоятельного решения разнообразных задач.

Методики и технологии активного обучения включают самостоятельную работу студентов (СРС), проблемные лекции с применением мультимедийного комплекса, проведение тестирования по отдельным разделам и дисциплине в целом, письменные контрольные работы, устный опрос во время практических занятий и лабораторных работ, написание рефератов по отдельным вопросам дисциплины.

Для оценки качества самостоятельной работы студентов осуществляется контроль за ее выполнением. Формы контроля самостоятельной работы студентов могут проводиться в виде собеседования, проверки и защиты индивидуальных расчетных заданий, коллоквиумов, контрольных работ, тестирования, устного или письменного экзамена и т.д.

В соответствии со стандартом специальности и типовым учебным планом дисциплина «Теплотехника» изучается в объеме 200 ч, в том числе 90 ч аудиторных, из них 54 ч – лекции, 16 ч – лабораторные, 20 ч – практические занятия. Форма получения высшего образования – дневная.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен в VII семестре.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение. Основные понятия и определения термодинамики

Введение. Предмет курса, методы термодинамики и задачи теории теплообмена.

Термодинамические системы и окружающая среда. Основные понятия и определения. Параметры состояния. Равновесные и неравновесные состояния.

Смеси идеальных газов. Способы задания состава смеси. Закон Дальтона. Кажущаяся молекулярная масса смеси. Газовая постоянная смеси. Плотность и теплоемкость газовой смеси. Внутренняя энергия и энтальпия газовой смеси.

Тема 2. Первый закон термодинамики

Принцип эквивалентности теплоты и работы. Выражение работы и теплоты через термодинамические параметры состояния. Внутренняя энергия. Сущность первого закона термодинамики. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Работа изменения объема. Энтальпия. Первый закон термодинамики для круговых процессов. Теплоемкость. Массовая, объемная и мольная теплоемкость. Теплоемкость при постоянном давлении и объеме. Температурная зависимость теплоемкости. Средняя и истинная теплоемкости.

Тема 3. Второй закон термодинамики

Энтропия. Сущность второго закона термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Основные источники необратимости. Термодинамические циклы (прямые и обратные, обратимые и необратимые). Термический КПД. Источники теплоты.

Регенерация тепла. Термодинамическая шкала температур. Абсолютный нуль температур. Изменение энтропии в необратимых процессах. Возрастание энтропии изолированной системы. Эксергия. Теорема Гюй-Стодолы. Расчет потерь эксергии при необратимых процессах.

Тема 4. Термодинамические процессы

Основные термодинамические процессы. Изоэнтропный процесс. Классификация процессов изменения состояния. Общие методы исследования процессов изменения состояния любых рабочих тел.

Политропный процесс. Уравнение политропы. Определение показателя политропы. Анализ процессов на основе сравнения показателей политропы. Расчет параметров состояния и энергетических характеристик процессов по таблицам термодинамических свойств. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Необратимое сжатие.

Методы анализа эффективности циклов. Термический КПД обратимого цикла. Внутренний и относительный КПД реального цикла. Методы повышения КПД.

Термодинамическая поверхность состояния реальных газов. Фазовые переходы. Правила фаз Гиббса. Фазовые диаграммы p - T , p - v , T - s . Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Условие устойчивости фаз. Условия фазового равновесия при плоской границе раздела фаз. Уравнение Пойтинга. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела фаз.

Кипящая жидкость и сухой насыщенный пар. Влажный пар. Степень сухости пара. Критические условия. Перегретый пар. Перегретая жидкость и переохлажденный пар. Вода и водяной пар. Аномалии воды. Термические и калорические свойства реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Термическое подобие веществ и закон соответственных состояний. Уравнение состояния Майера-Боголюбова. Эмпирические уравнения состояния. Расчет термодинамических свойств веществ в двухфазных системах.

Тема 5. Термодинамика потоков

Основные понятия и определения. Уравнение неразрывности. Уравнение движения. Уравнение первого закона термодинамики для стационарного потока массы. Понятие о сопловом и диффузионном течении газов. Адиабатное истечение газов и паров из суживающегося сопла. Зависимость скорости потока и расхода газа (пара) через сопло от отношения давлений. Адиабатное давление с трением. Коэффициенты скорости и расхода. Методика термодинамического расчета различных типов сопел при истечении газа и перегретого пара. Особенности истечения сухого насыщенного и влажного пара. Параметры торможения.

Процессы адиабатного и изотермического дросселирования и их техническое применение. Эффект Джоуля-Томсона. Интегральный дроссель-эффект. Практическое применение дросселирования. Точки инверсии.

Тема 6. Комбинированные циклы и циклы атомных электростанций

Термодинамические циклы. Циклы с регенерацией теплоты. Цикл Ренкина с перегретым паром. Бинарные циклы. Термодинамический анализ паропаровых,, парогазовых и газопаровых циклов. Применение магнитогидродинамического генератора в цикле МГД-установки, термический КПД цикла.

Термодинамические циклы атомных электростанций (АЭС). Теплогидравлика водо-водяных реакторов. Схемы и циклы одноконтурных, двухконтурных и трехконтурных АЭС. Цикл насыщенного пара с промежуточной сепарацией. Цикл с сепарацией и перегревом пара.

Тема 7. Основные положения теории теплопроводности

Основные количественные характеристики процессов переноса теплоты: количество теплоты, тепловой поток, плотность теплового потока, мощность внутренних источников теплоты.

Основные положения теории теплопроводности. Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, твердых диэлектриках. Температурное поле. Температурный градиент. Закон теплопроводности Фурье. Коэффициент теплопроводности и его зависимость от различных факторов.

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Коэффициент температуропроводности. Граничные условия первого, второго и третьего рода. Сопреженные задачи. Закон Ньютона-Рихмана для теплоотдачи.

Тема 8. Теплопроводность при стационарном и нестационарном тепловых потоках

Стационарные процессы теплопроводности. Передача теплоты через плоскую, цилиндрическую и шаровую стенки при граничных условиях первого и третьего рода при отсутствии внутренних источников теплоты.

Нестационарные процессы теплопроводности. Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме. Теплопроводность тонкой пластины, длинного цилиндра при граничных условиях третьего рода.

Анализ решений. Частные случаи. Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров. Нестационарная теплопроводность в телах сложной конфигурации.

Тема 9. Конвективный теплообмен. Основы теории подобия и моделирования

Конвективный теплообмен. Основные положения. Теплоотдача. Основные случаи теплоотдачи: теплоотдача в однофазных жидкостях и при фазовых превращениях, при вынужденной и естественной конвекции. Интенсификация процессов теплоотдачи.

Система дифференциальных уравнений неизотермического движения: уравнение теплоотдачи, энергии, движения и сплошности. Условия однозначности.

Подобие и моделирование процессов конвективного теплообмена. Приведение дифференциальных уравнений конвективного теплообмена и условий однозначности к безразмерному виду. Основные числа и критерии подобия.

Тема 10. Теплоотдача при вынужденном и свободном течении жидкости

Теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах. Особенности течения и теплообмена в трубах. Ламинарный и турбулентный режимы. Участки гидродинамической и тепловой стабилизации. Стабилизированное течение.

Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режимах течения жидкости в гладких трубах круглого поперечного сечения. Расчетные уравнения. Переходный режим.

Теплоотдача при течении жидкости в трубах некруглого поперечного сечения, в изогнутых и шероховатых трубах.

Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб.

Режимы течения в пограничном слое при поперечном омывании цилиндра, их связь с теплоотдачей. Влияние отрыва пограничного слоя. Характер изменения теплоотдачи по окружности цилиндра при различных условиях омывания. Расчетные уравнения. Влияние степени турбулентности набегающего потока и угла атаки.

Основные типы пучков труб. Ламинарный, смешанный и турбулентный режимы омывания. Изменение теплоотдачи по окружности трубок пучка. Изменение средней по окружности труб теплоотдачи в зависимости от номера ряда. Влияние степени турбулентности потока. Влияние величины относительных шагов. Сравнение теплоотдачи шахматных и коридорных пучков. Влияние угла атаки.

Теплообмен при свободной конвекции. Факторы, обуславливающие свободное движение. Распределение температур и скоростей. Изменение

коэффициента теплоотдачи по высоте стенки. Характер движения жидкости вблизи горизонтальных труб и пластин. Расчетные уравнения. Методика расчета теплоотдачи при естественной конвекции в ограниченном пространстве.

Тема 11. Тепло- и массообмен двухкомпонентных сред

Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Основные положения теории массообмена. Концентрационная, термо- и бародиффузия. Первый и второй закон Фика. Теплообмен при конденсации и кипении.

Коэффициент молекулярной диффузии. Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений пограничного слоя. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Коэффициент массотдачи. Параметры двухфазной смеси в трубах. Применение теории подобия к процессам массообмена. Тройная аналогия. Тепло- и массообмен при конденсации пара из парогазовой смеси, при испарении жидкости в парогазовую среду.

Теплообмен и сопротивление при течении в кольцевых каналах и при продольном обтекании пусков стержней.

Тема 12. Основы расчета теплообменных аппаратов

Теплообменные аппараты. Общие сведения. Назначение теплообменников. Их классификация по принципу действия. Парогенераторы атомных станций. Теплозащитные покрытия. Основы теплового расчета теплообменников. Проектный и поверочный расчеты.

Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. Средний температурный напор. Определение среднего температурного напора для основных схем движения теплоносителей. Сравнение прямотока и противотока.

Гидродинамический расчет теплообменных аппаратов. Задачи гидродинамического расчета, гидравлическое сопротивление элементов теплообменного аппарата.

Расчет активной зоны реакторов ВВЭР, РБМК.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Количество аудиторных часов				Форма контроля знаний
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные занятия	Управляемая самостоятельная работа	
1	2	3	4	5	6	7
1	Введение. Основные понятия и определения термодинамики	2	2		–	1–3,5
2	Первый закон термодинамики	2	2		–	1–3, 5
3	Второй закон термодинамики	2	2		–	1–3, 5
4	Термодинамические процессы	8	2		–	1–3, 5
5	Термодинамика потоков	4	-		–	1–3, 5
6	Комбинированные циклы и циклы атомных электростанций	4	-		–	1–3,5
7	Основные положения теории теплопроводности	4	-		-	1–3, 5
8	Теплопроводность при стационарном и нестационарном тепловых потоках	6	4	4	-	1-5
9	Конвективный теплообмен. Основы теории подобия и моделирования	6	2	4	-	1-5
10	Теплоотдача при вынужденном и свободном движении жидкости	6	2	4	-	1-5
11	Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах	4			-	1–3, 5
12	Основы расчета теплообменных аппаратов	6	4	4	-	1-5
Итого		54	20	16	–	5

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Инновационные подходы и методы преподавания дисциплины

При организации образовательного процесса используется *практико-ориентированный подход*, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие инженерной культуры.

Перечень тем практических занятий

Номер раздела, темы	Тема практического занятия	Число часов
1	Параметры состояния. Уравнение состояния рабочего тела	2
2	Первый закон термодинамики	2
3	Второй закон термодинамики	2
4	Термодинамические свойства и процессы водяного пара	2
8	Теплопроводность и теплопередача при стационарном режиме	2
8	Теплопроводность при нестационарном режиме	2
9	Расчет плоской стенки с прямыми ребрами постоянного поперечного сечения	2
10	Теплоотдача при вынужденном течении жидкости	2
12	Тепловой и гидродинамический расчет теплообменных аппаратов	4

Перечень тем лабораторных занятий

Номер раздела, темы	Тема лабораторного занятия	Число часов
1	2	3
8	Определение коэффициента теплопроводности методом трубы и установление зависимости коэффициента теплопроводности от температуры	2
8	Определение коэффициента теплопроводности методом пластины	2

1	2	3
9	Определение коэффициента теплоотдачи от горизонтальной и вертикальной труб одинакового диаметра, изготовленных из одинакового материала	4
10	Исследование теплопередачи при вынужденном движении воздуха в трубе	4
12	Исследование теплового процесса в теплообменном аппарате типа «труба в трубе»	4

Наименование и виды методических средств

№ п/п	Наименование	Вид
1	Учебно-информационные материалы по теме лекций	Электронный файл - *.pdf
2	Презентации	Электронный файл - *.ppt, *.pdf
3	Тестовые задания	Электронный файл
4	Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ	Электронный файл, Печатное методическое пособие
5	Методические рекомендации к выполнению практических заданий	Электронный файл

Формы контроля знаний

№ п/п	Форма
1	Проведение опроса на лекционных и практических занятиях
2	Реферат по дисциплине
3	Контрольная работа
4	Защита отчетов по лабораторным работам
5	Проведение экзамена по курсу

Рекомендуемая литература

Основная

1. Круглов, Г. А. Теплотехника : учебное пособие для ВО / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова. – 3-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2020. – 208 с. : ил.
2. Цирельман, Н. М. Техническая термодинамика : учебное пособие. – 2-е изд., доп. – СПб.: Лань, 2018. – 352 с.: ил.
3. Кудинов, В. А. Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для академического бакалавриата / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк – 4-е изд. перераб и доп. – М.: Юрайт, 2018. - 454 с.
4. Семенов, Ю. П. Теплотехника : учебник / Ю. П. Семенов, А. Б. Левин. – 2-е изд. – М.: Инфра-М, 2019. – 400 с.
5. Александров, А. А. Теплотехника : учебное пособие / А. А. Александров, А. М. Архаров, И. А. Архаров [и др.] ; под общей редакцией А. М. Архарова, В. Н. Афанасьева. – 5-е изд., - М. : МГТУ им. Баумана, 2017. – 876 с.
6. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика : учебник для вузов / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейдлин. – М. : Издательский дом МЭИ, 2016. – 496 с. : ил.
7. Теплообмен в ядерных энергетических установках: учебное пособие для вузов / Б.С. Петухов [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 548 с.
8. Кириллов, П.Л. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках : учебное пособие для вузов; 2-е изд., перераб. / П.Л. Кириллов, Г. П. Богословская. – М.: ИздАт, 2008. – 256 с.

Дополнительная

9. Исаченко, В. П. Теплопередача / Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. – М. : Энергия, 1975. – 488 с.
10. Ривкин, С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара : справочник / Ривкин С. Л., Александров А. А. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 80 с.
11. Баскаков, А. П. Теплотехника : учебник для вузов / А. П. Баскаков, Б. В. Берг, О. К. Витт и др. – 2-е изд., перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.

Протокол согласования учебной программы с другими дисциплинами

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой дисциплине	Решение кафедры, разработавшей учебную программу
Согласование с другими дисциплинами не требуется			