

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет имени
П.О. Сухого»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

УО «ГГТУ им. П.О. Сухого»

_____ О.Д. Асенчик

(подпись)

07.07.2020

Регистрационный № УД-52-49/уч.

ТЕПЛОМАССОБМЕН

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

2020 г.

Учебная программа составлена на основе:
образовательного стандарта ОСВО 1-43 01 05-2013; учебных планов учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»: № I 43-1-28/уч. от 06.02.2019, № I 43-1-42.1/уч. от 08.02.2019, № I 43-1-56/уч. от 05.04.2019.

СОСТАВИТЕЛЬ:

А.В. Овсянник, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», кандидат технических наук, доцент;
Е.Н. Макеева, старший преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого».

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

А.О. Добродей, заведующий кафедрой «Электроснабжение» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», кандидат технических наук, доцент;
М.М. Починок, директор филиала «Гомельские тепловые сети» РУП «Гомельэнерго».

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и экология» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» (протокол № 12 от 27.05.2020)

Научно-методическим советом энергетического факультета учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» (протокол № 9 от 23.06.2020) УДэф-07-32/уч

Научно-методическим советом заочного факультета учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» (протокол № 5 от 04.06.2020) УДз-116-20у

Научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» (протокол № 5 от 25.06.2020)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа учреждения высшего образования по дисциплине «Тепломассообмен» предусматривает изучение основных законов тепломассообмена и их применение в различных теплоэнергетических и теплотехнологических процессах и установках.

Цель дисциплины – овладение закономерностями основных процессов переноса теплоты и массы, в том числе и протекающих совместно, усвоение основных результатов теоретических и экспериментальных исследований и ознакомление с путями решения современных проблем тепломассообмена, приобретение умений и навыков в проведении тепловых расчетов и решении практических задач, связанных с тепломассообменом в элементах энергетических и теплотехнологических установок.

После изучения дисциплины студент должен быть компетентен решать следующие профессиональные задачи:

- проектирование и расчет номинальных режимов работы теплообменных аппаратов;
- расчет основных параметров технологического процесса энергетических установок;
- разработка и освоение нового энергетического оборудования и процессов;
- внедрение энергосберегающих технологий и оборудования;
- повышение эффективности использования энергоресурсов.

Для изучения дисциплины необходимо знание высшей математики, физики, гидрогазодинамики и технической термодинамики.

Освоение учебной программы по дисциплине «Тепломассообмен» должно обеспечить формирование базовых профессиональных компетенций.

Специалист должен:

- владеть методами определения абсолютных и относительных энергетических характеристик рабочих тел, методиками составления энергетических балансов и анализа термодинамических систем, знать основные механизмы передачи теплоты и массы, математическое описание процессов тепло- и массообмена, методы теплового и гидравлического расчетов тепломассообменных аппаратов, интенсификации теплообмена в теплотехнологических установках;
- уметь применять базовые научно – теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- владеть системным и сравнительным анализом;
- владеть исследовательскими навыками;
- уметь работать самостоятельно;
- владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером;
- обладать способностью к межличностным коммуникациям;
- уметь работать в команде;

- в составе группы специалистов осуществлять выбор оптимальных режимов эксплуатации энергетических объектов (систем) для повышения технико – экономических показателей режимов их работы;
- осуществлять современными инструментальными системами диагностирование и мониторинг состояния теплоэнергетического и теплотехнологического оборудования, включая экологические параметры;
- выявлять причины повреждений элементов энергетического и энерготехнологического оборудования, вести их учет, разрабатывать предложения по их предупреждению;
- организовывать и проводить испытания энергооборудования;
- разрабатывать пути снижения потерь топливно – энергетических ресурсов.

В результате изучения дисциплины «Тепломассообмен» студент специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» должен:

знать:

- основные законы передачи теплоты (теплопроводность, конвекция, тепловое излучение);
 - определения коэффициентов теплопроводности, теплоотдачи, теплопередачи, массоотдачи, температуропроводности, кинетической вязкости, молекулярной диффузии;
 - законы теплопроводности Фурье, теплоотдачи Ньютона-Рихмана, законы теплового излучения (Планка, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта);
 - механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, диэлектриках;
 - теплопроводность при стационарном тепловом режиме в плоской, цилиндрической и шаровой стенках;
 - теплопроводность тонкой пластины, длинного цилиндра и шара при нестационарном тепловом режиме, а также регулярный режим нагревания тел различной конфигурации;
 - подобия и моделирование процессов теплообмена;
 - теплоотдача при вынужденной и свободной конвекции однофазной жидкости;
 - конвективный массообмен, закон Фика;
 - теплообмен при конденсации чистого пара и при кипении однокомпонентных жидкостей;
 - особенности теплообмена излучением в поглощающих средах;
 - основы теплового и гидравлического расчетов теплообменных аппаратов;
- уметь:
- определять плотность теплового потока через плоскую, цилиндрическую и шаровую стенки при граничных условиях I и III родов;
 - рассчитывать температурное поле тел различной геометрической формы при нестационарных процессах теплопроводности;

- определять интенсивность теплообмена при естественной и вынужденной конвекции, при фазовых превращениях;
- рассчитывать интенсивность лучистого теплообмена между телами произвольной формы в диатермических и поглощающих средах;
- выполнять тепловой и гидравлический расчеты теплообменных аппаратов различной конструкции;
- проводить экспериментальное исследование гидромеханических и тепломассообменных процессов в элементах теплоэнергетических и теплотехнологических систем.

владеть:

- практическими навыками в расчетах температурных полей при стационарной и нестационарной теплопроводности;
- практическими навыками в определении коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи в элементах энергетического оборудования;
- практическими навыками в тепловых и гидравлических расчетах рекуперативных теплообменных аппаратах.

Для оценки достижений студента используется следующий диагностический инструментарий:

- проведение текущих контрольных опросов по отдельным темам;
- защита выполненных практических работ;
- защита выполненных лабораторных работ;
- тестирование по модулям дисциплины;
- доклады и презентации по отдельным темам;
- защита курсовой работы;
- сдача экзамена.

Количество часов всего и аудиторных часов по формам получения образования: всего часов по дисциплине – 330, аудиторных часов: по дневной форме – 160, по заочной форме – 36 часов; по заочной форме на основе среднего специального образования – 16 часов; трудоемкость учебной дисциплины – 8 зачетных единиц.

Распределение аудиторного времени по видам занятий

Специальность	Форма получения образования	Курс	Семестр	Количество аудиторного времени, часов				
				Ауд.	Лекции	Лабор.	Практ.	Курс. работа
1–43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»	Дневная форма	3	5, 6	160	96	32	32	40
	Заочная форма	3, 4	6, 7, 8	36	20	8	8	40
	Заочная форма на основе среднего специального образования	2, 3	4, 5	16	8	4	4	40

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине

Специальность	Форма получения образования	Формы текущей аттестации, семестр			
		Экзамен	Зачет	Тест	Курсовая работа
1–43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»	Дневная форма	5, 6	–	–	6
	Заочная форма	7, 8	–	7	8
	Заочная форма на основе среднего специального образования	5	–	–	5

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Теплопроводность

Тема 1.1. Основные процессы передачи теплоты

Предмет курса, общие положения. Основные процессы передачи теплоты: теплопроводность; конвективный теплообмен; тепловое излучение. Теплоотдача. Теплопередача. Основные количественные характеристики процессов переноса теплоты: количество теплоты, тепловой поток, плотность теплового потока, мощность внутренних источников теплоты. Перенос вещества (массообмен).

Тема 1.2. Основные положения теории теплопроводности

Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, твердых диэлектриках. Температурное поле. Температурный градиент. Тепловой поток. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его зависимость от различных факторов. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Коэффициент температуропроводности. Краевые условия для процессов теплопроводности; граничные условия первого, второго, третьего и четвертого родов. Закон Ньютона-Рихмана для теплоотдачи. Коэффициент теплоотдачи.

Тема 1.3. Теплопроводность при стационарном режиме

Передача тепла через плоскую стенку. Распределение температуры в тонкой стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Выражения для теплового потока, коэффициента теплопередачи и термического сопротивления, их анализ. Многослойная плоская стенка. Передача тепла через цилиндрическую стенку. Распределение температур в стенке длинного цилиндра при постоянном и переменном коэффициентах теплопроводности. Выражения для теплового потока, коэффициента теплопередачи и термического сопротивления. Многослойная цилиндрическая стенка. Критический диаметр цилиндрической стенки. Передача теплоты через шаровую стенку. Пути интенсификации теплопередачи. Интенсификация теплопередачи путем увеличения коэффициентов теплоотдачи. Интенсификация теплопередачи за счет оребрения стенок. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения. Теплопередача через ребристую плоскую стенку.

Тема 1.4. Теплопроводность при нестационарном режиме

Общие положения. Аналитическое описание процесса. Теплопроводность тонкой пластины, длинного цилиндра и шара при граничных условиях второго и третьего рода. Анализ решений. Частные случаи. Нагревание (охлаждение) тел конечных размеров. Регулярный режим нагревания (охлаждения) тел. Первая и вторая теоремы Кондратьева. Темп охлаждения и его определение. Определение теплофизических характеристик материалов методом регулярного режима. Численные методы решения задач нестационарной теплопроводности.

Раздел 2. Конвективный теплообмен

Тема 2.1. Основные положения конвективного теплообмена

Основные понятия и определения. Конвективный теплообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса. Основные физические факторы, существенные для процессов конвективного теплообмена. Физические свойства жидкости. Понятия о гидродинамическом и тепловом пограничных слоях. Ламинарная и турбулентная формы течения жидкости и их связь с теплообменом. Пульсации скорости и температуры в турбулентном потоке. Осреднение скоростей и температур. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Уравнение теплоотдачи. Уравнение энергии. Уравнение движения. Уравнение оплошности. Условия однозначности.

Тема 2.2. Подобие и моделирование процессов тепломассообмена.

Общие условия подобия физических процессов. Теоремы подобия. Приведение дифференциальных уравнений конвективного теплообмена и условий однозначности к безразмерному виду. Основные числа и критерии подобия. Понятие о теории размерности. Следствия из условий подобия. Моделирование процессов конвективного теплообмена.

Тема 2.3. Методика обработки экспериментальных данных.

Обработка и обобщение результатов эксперимента. Получение эмпирических уравнений конвективного теплообмена.

Тема 2.4. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности

Теория пограничного слоя. Гидродинамический тепловой пограничные слои. Определение границ ламинарного и турбулентного пограничных слоев. Теплоотдача при ламинарном пограничном слое. Соотношение толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев. Влияние переменности физических параметров и температуры поверхности на теплоотдачу. Расчетные уравнения. Переход ламинарного течения в турбулентное. Расчет теплоотдачи при турбулентном пограничном слое на основе гидродинамической теории теплообмена. Область ее применения и расчетные уравнения. Расчет теплоотдачи при одновременном наличии ламинарного и турбулентного пограничных слоев.

Тема 2.5. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах

Особенности течения и теплообмена в трубах. Ламинарный и турбулентный режимы. Участки гидродинамической и тепловой стабилизации. Стабилизационное течение. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы течения. Аналитические методы расчета теплоотдачи при стабилизационном течении в трубах. 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, в каналах пластинчатых и кожухотрубных теплообменников.

Тема 2.6. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб

Режимы течения в пограничном слое при поперечном омывании цилиндра и их связь с теплоотдачей. Влияние отрыва пограничного слоя. Характер изменения теплоотдачи по окружности цилиндра при различных условиях омывания. Средняя теплоотдача. Расчетные уравнения. Влияние степени турбулентности набегающего потока и угла атаки. Основные типы пучков труб. Ламинарное и турбулентное течение жидкости в пучках. Ламинарный, смешанный и турбулентный режимы омывания. Изменение средней по окружности труб теплоотдачи в зависимости от номера ряда пучка. Влияние степени турбулентности потока. Влияние величины относительных шагов. Расчетные уравнения. Сравнение теплоотдачи шахматных и коридорных пучков. Теплоотдача при поперечном омывании пучков оребренных труб.

Тема 2.7. Теплоотдача при свободном движении жидкости

Факторы, обуславливающие свободное движение. Распределение температур и скоростей. Характер движения жидкости вдоль вертикальной стенки. Изменение коэффициента теплоотдачи по высоте стенки. Характер движения жидкости вблизи горизонтальных труб и пластин. Результаты теоретического расчета теплоотдачи при естественной конвекции. Экспериментальные исследования. Расчетные уравнения. Методика расчета теплоотдачи при естественной конвекции в ограниченном пространстве.

Раздел 3. Массообмен

Тема 3.1. Конвективный тепло- и массообмен

Основные положения теории массообмена. Концентрационная, термомассообменная и бародиффузия. Закон Фика. 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 теплоотдачи. Применение теории подобия к процессам массообмена, основные числа подобия.

Тема 3.2. Массообмен через полупроницаемые перегородки (мембраны)

Мембраны. Физико-химические основы мембранных процессов. Расчет мембранных процессов и аппаратов. Мембранные аппараты. Методы очистки мембран.

Тема 3.3. Массо- и теплообмен при испарении, конденсации и химических реакциях

Стефанов поток массы. Массо- и теплообмен при испарении в парогазовую среду. Массо- и теплообмен из парогазовой смеси. Соотношение между коэффициентами теплоотдачи и массоотдачи. Формула Льюиса. Особенности процессов теплопереноса при химических реакциях. Химическое равновесие. Энтальпия образования компонента.

Тема 3.4. Массоперенос при сушке материалов

Тепло- и массоотдача со свободной поверхности жидкости или влажного твердого тела. Основные характеристики сушки. Перенос влаги во влажных телах. Механизм массопереноса при сушке. Усадка и деформация материала. Кинетика и динамика процесса сушки. Тепло – и массообмен при сушке.

Раздел 4. Теплообмен при изменении агрегатного состояния

Тема 4.1. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей

Условия возникновения кипения жидкости. Механизм кипения жидкости. Перегрев жидкости и наличие центров парообразования как условия возникновения паровой фазы. Образование пузырей пара. Минимальный радиус центра парообразования. Изменение диаметра пузыря во времени. Отрывной диаметр пузыря. Теплообмен между стенкой и жидкой фазой, между жидкой и паровой фазами. Зависимость коэффициента теплоотдачи и плотности теплового потока от температурного напора при кипении в большом объеме. Кризисы кипения. Первая и вторая критические плотности теплового потока. Обобщенные и частные эмпирические зависимости для коэффициента теплоотдачи при кипении в условиях свободного движения. Теплообмен при кипении жидкости в трубах. Расчет теплоотдачи в трубах. Механизм пленочного кипения. Расчет теплоотдачи при пленочном кипении жидкости.

Тема 4.2. Теплообмен при конденсации чистого пара

Условия возникновения конденсации пара. Пленочная и капельная конденсация. Коэффициент конденсации. Термическое сопротивление фазового перехода. Конденсация сухого насыщенного пара на вертикальных стенках. Ламинарное и турбулентное течение пленки конденсата. Теоретический расчет теплоотдачи при ламинарном течении пленки. Расчет средней теплоотдачи при наличии на поверхности ламинарной и турбулентной пленки. Влияние на теплоотдачу скорости пара. Конденсация пара внутри труб. Конденсация сухого насыщенного пара на горизонтальных трубах и пучках труб. Расчет теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальных пучках труб. Теплоотдача при капельной конденсации пара. Теплообмен при конденсации движущегося пара.

Раздел 5. Теплообмен излучением

Тема 5.1. Основные положения лучистого теплообмена

Природа теплового излучения. Основные понятия и определения: поток излучения; поверхностная и спектральная плотность потока излучения; интенсивность (яркость) излучения; поглощательная; отражательная и пропускная способности тела. Виды потоков излучения. Законы излучения абсолютно черного тела: Закон Планка, закон Вина, закон Стефана-Больцмана. Серое тело. Степень черноты. Закон Кирхгофа для монохроматического и интегрального излучения. Закон Ламберта.

Тема 5.2. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой

Классификация потоков излучения. Методы изучения процессов теплообмена излучением (метод многократных отражений, метод полных потоков излучения, метод «сальдо»). Лучистый теплообмен между двумя безграничными пластинами. Теплообмен при наличии экранов. Угловые коэффициенты излучения.

Тема 5.3. Теплообмен излучением в поглощающих средах

Поглощательная способность и степень черноты среды. Закон Бугера. Эффективная длина пути луча. Излучательная и поглощательная способности газов. Теплообмен между газом и его оболочкой. Сложный теплообмен. Числа радиационного подобия (Старка, Больцмана, Кирпичева, Бугера).

Раздел 6. Теплообменные аппараты

Тема 6.1. Теплообменные аппараты и их классификация

Общие сведения. Назначение теплообменников. Их классификация по принципу действия. Основы теплового и гидравлического расчетов теплообменников. Проектный и поверочный расчеты. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи.

Тема 6.2. Тепловой и гидравлический расчеты теплообменных аппаратов

Сравнение прямотока с противотоком. Средний температурный напор. Тепловая эффективность теплообменного аппарата. Число единиц переноса теплоты. Порядок поверочного теплового расчета рекуперативного теплообменного аппарата. Гидравлический расчет теплообменных аппаратов.

Тема 6.3. Конструктивный расчет теплообменных аппаратов.

Определение при номинальном режиме и заданной тепловой производительности геометрических размеров теплообменника. Определение конструкции теплообменника. Выбор конструкционных материалов для изготовления теплообменника.

Тема 6.4. Прочностной расчет теплообменных аппаратов

Общие положения. Расчет корпусов, днищ и крышек цилиндрических теплообменных аппаратов. Укрепление отверстий в обечайках и днищах аппаратов. Расчет трубных решеток и труб. Расчет фланцевых соединений.

Тема 6.5. Рекуперативные теплообменные аппараты

Кожухотрубные теплообменники с прямыми гладкими, оребренными и U – образными трубами. Секционные, типа “труба в трубе”, змеевиковые, спиральные, ламельные теплообменные аппараты. Пластинчатые теплообменники.

Тема 6.6. Регенеративные теплообменные аппараты

Общие сведения. Типы регенераторов и насадок. Характер изменения температуры теплоносителей и насадки за цикл. Тепловой расчет регенератора.

Тема 6.7. Смесительные теплообменные аппараты

Классификация. Конструкция. Пленочные, струйные, насадочные и безнасадочные аппараты.

Тема 6.8. Основные элементы и вспомогательное оборудование теплообменных аппаратов.

Конденсатоотводчики. Фланцевые соединения и теплотехническая арматура для трубопроводов. Уплотнительные материалы, прокладки. Тепловая изоляция.

Тема 6.9. Методы анализа и способы повышения эффективности теплообменных аппаратов.

Методика сопоставления различных теплообменных аппаратов. Методика определения оптимальных режимов работы и основных параметров аппаратов. Значение интенсификации теплообмена. Физические основы и понятия интенсификации теплообмена. Методы оценок эффективности способов интенсификации теплообмена. Методы повышения эффективности теплообменных аппаратов.

Раздел 7. Тепловые трубы и термосифоны

Принцип действия. Особенности применения. Конструкция. Области применения. Контурные тепловые трубы.

ХАРАКТЕРИСТИКА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целью выполнения курсовой работы является закрепление знаний по основным разделам дисциплины, а также приобретение опыта практического применения теоретических навыков при решении теплотехнических задач.

Выполнение курсовой работы позволит овладеть навыками теплового и гидромеханического расчета теплообменного аппарата, позволит удостовериться в действенности определенных мероприятий с целью интенсификации теплообмена.

Курсовая работа состоит из расчетной части (до 30 страниц текста) и графической части (одного листа формата А1) и выполняется по следующим темам:

- тепловой конструктивный расчет рекуперативного кожухотрубчатого теплообменника;
- тепловой расчет пластинчатого теплообменника.

Работу рекомендуется выполнять последовательно, по мере изучения основных разделов курса. Исходные данные для выполнения работы студенту выдает преподаватель.

На выполнение курсовой работы студентам специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» – 40 часов (1 зач. ед.).

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»
(дневная форма получения образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСРС	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5 семестр								
1	Раздел 1. Теплопроводность	18	8		8			Экзамен
1.1	Тема 1.1. Основные процессы передачи теплоты	2						
1.2	Тема 1.2. Основные положения теории теплопроводности	4	2					Защита л.р.
1.3	Тема 1.3. Теплопроводность при стационарном режиме	8	4		6			Защита л.р.
1.4	Тема 1.4. Теплопроводность при нестационарном режиме	4	2		2			Защита л.р.
2	Раздел 2. Конвективный теплообмен	22	8		8			Экзамен
2.1	Тема 2.1. Основные положения конвективного теплообмена	4			8			Защита л.р.
2.2	Тема 2.2. Подobie и моделирование процессов теплообмена	4	2					
2.3	Тема 2.3. Общие вопросы обработки результатов измерений и расчета конвективной теплоотдачи	2						
2.4	Тема 2.4. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности	4	2					
2.5	Тема 2.5. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах	4						
2.6	Тема 2.6. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб	2	2					
2.7	Тема 2.7. Теплоотдача при свободном движении жидкости	2	2					
3	Раздел 3. Массообмен	8						Экзамен
3.1	Тема 3.1. Конвективный тепло- и массообмен	2						
3.2	Тема 3.2. Массообмен через полупроницаемые перегородки	2						
3.3	Тема 3.3. Массо- и теплообмен при испарении, конденсации и	2						

	химических реакциях						
3.4	Тема 3.4. Массоперенос при сушке материалов	2					
	Итого:	48	16		16		
6 семестр							
4	Раздел 4. Теплообмен при изменении агрегатного состояния	6	6		4		Экзамен
4.1	Тема 4.1. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей	4	4		2		Защита л.р.
4.2	Тема 4.2. Теплообмен при конденсации чистого пара	2	2		2		Защита л.р.
5	Раздел 5. Теплообмен излучением	8	2		4		Экзамен
5.1	Тема 5.1. Основные положения лучистого теплообмена	4	2		4		Защита л.р.
5.2	Тема 5.2. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой	2					
5.3	Тема 5.3. Теплообмен излучением в поглощающих средах	2					
6	Раздел 6. Теплообменные аппараты	30	8		8		Экзамен
6.1	Тема 6.1. Теплообменные аппараты и их классификация	4					
6.2	Тема 6.2. Тепловой и гидравлический расчеты теплообменных аппаратов	6	2		2		Защита л.р.
6.3	Тема 6.3. Конструктивный расчет теплообменных аппаратов	2	2		2		Защита л.р.
6.4	Тема 6.4. Прочностной расчет теплообменных аппаратов	2	2				Защита л.р.
6.5	Тема 6.5. Рекуперативные теплообменные аппараты	4	2		2		Защита л.р.
6.6	Тема 6.6. Регенеративные теплообменные аппараты	2					
6.7	Тема 6.7. Смесительные теплообменные аппараты	4					
6.8	Тема 6.8. Основные элементы и вспомогательное оборудование теплообменных аппаратов	2					
6.9	Тема 6.9. Методы анализа и способы повышения эффективности теплообменных аппаратов.	4			2		Защита л.р.
7	Раздел 7. Тепловые трубы и термосифоны	4					Экзамен
	Итого:	48	16		16		
	ВСЕГО	96	32		32		

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»
(заочная форма получения образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСРС	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
7 семестр								
1	Раздел 1. Теплопроводность	4	2		2			Экзамен
1.1	Тема 1.1. Основные процессы передачи теплоты	1						
1.2	Тема 1.2. Основные положения теории теплопроводности	1						
1.3	Тема 1.3. Теплопроводность при стационарном режиме	1	2		2			Защита л.р.
1.4	Тема 1.4. Теплопроводность при нестационарном режиме	1						
2	Раздел 2. Конвективный теплообмен	4	2		2			Экзамен
2.1	Тема 2.1. Основные положения конвективного теплообмена	0,5	2		2			Защита л.р.
2.2	Тема 2.2. Подobie и моделирование процессов теплообмена	1						
2.3	Тема 2.3. Общие вопросы обработки результатов измерений и расчета конвективной теплоотдачи	0,5						
2.4	Тема 2.4. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности	0,5						
2.5	Тема 2.5. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах	0,5						
2.6	Тема 2.6. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб	0,5						
2.7	Тема 2.7. Теплоотдача при свободном движении жидкости	0,5						
3	Раздел 3. Массообмен	2						Экзамен
3.1	Тема 3.1. Конвективный тепло- и массообмен	0,5						
3.2	Тема 3.2. Массообмен через полупроницаемые перегородки	0,5						
3.3	Тема 3.3. Массо- и теплообмен при испарении, конденсации и	0,5						

	химических реакциях						
3.4	Тема 3.4. Массоперенос при сушке материалов	0,5					
	Итого	10	4		4		
8 семестр							
4	Раздел 4. Теплообмен при изменении агрегатного состояния	1,5	2				Экзамен
4.1	Тема 4.1. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей	1	1				
4.2	Тема 4.2. Теплообмен при конденсации чистого пара	0,5	1				
5	Раздел 5. Теплообмен излучением	2			2		Экзамен
5.1	Тема 5.1. Основные положения лучистого теплообмена	1			2		Защита л.р.
5.2	Тема 5.2. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой	0,5					
5.3	Тема 5.3. Теплообмен излучением в поглощающих средах	0,5					
6	Раздел 6. Теплообменные аппараты	6	2		2		Экзамен
6.1	Тема 6.1. Теплообменные аппараты и их классификация	1					
6.2	Тема 6.2. Тепловой и гидравлический расчеты теплообменных аппаратов	1	2		2		Защита л.р.
6.3	Тема 6.3. Конструктивный расчет теплообменных аппаратов	0,5					
6.4	Тема 6.4. Прочностной расчет теплообменных аппаратов	0,5					
6.5	Тема 6.5. Рекуперативные теплообменные аппараты	1					
6.6	Тема 6.6. Регенеративные теплообменные аппараты	0,5					
6.7	Тема 6.7. Смесительные теплообменные аппараты	0,5					
6.8	Тема 6.8. Основные элементы и вспомогательное оборудование теплообменных аппаратов	0,5					
6.9	Тема 6.9. Методы анализа и способы повышения эффективности теплообменных аппаратов.	0,5					
7	Раздел 7. Тепловые трубы и термосифоны	0,5					Экзамен
	Итого	10	4		4		
	ВСЕГО	20	8		8		

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»
(заочная форма на основе среднего специального образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСРС	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Раздел 1. Теплопроводность	2	2					Экзамен
1.1	Тема 1.1. Основные процессы передачи теплоты	0,5						
1.2	Тема 1.2. Основные положения теории теплопроводности	0,5						
1.3	Тема 1.3. Теплопроводность при стационарном режиме	0,5	2					
1.4	Тема 1.4. Теплопроводность при нестационарном режиме	0,5						
2	Раздел 2. Конвективный теплообмен	2			2			Экзамен
2.1	Тема 2.1. Основные положения конвективного теплообмена	1			2			Защита л.р.
2.2	Тема 2.2. Подobie и моделирование процессов теплообмена	1						
3	Раздел 3. Массообмен	0,5						Экзамен
3.1	Тема 3.1. Конвективный тепло- и массообмен	0,5						
4	Раздел 4. Теплообмен при изменении агрегатного состояния	1						Экзамен
4.1	Тема 4.1. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей	0,5						
4.2	Тема 4.2. Теплообмен при конденсации чистого пара	0,5						
5	Раздел 5. Теплообмен излучением	0,5						Экзамен
5.1	Тема 5.1. Основные положения лучистого теплообмена	0,5						
6	Раздел 6. Теплообменные аппараты	2	2		2			Экзамен
6.1	Тема 6.1. Теплообменные аппараты и их классификация	1						
6.2	Тема 6.2. Тепловой и гидравлический расчеты теплообменных аппаратов	1	2		2			Защита л.р.
	ВСЕГО	8	4		4			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Архипов, В. Физико-химические основы процессов теплообмена: учебное пособие / В. Архипов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015. – 199 с.: ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442086> (дата обращения: 06.02.2020).

2. Брюханов, О.Н. Теплообмен: учебное пособие для вузов / О.Н. Брюханов, С.Н. Шевченко. – Москва: АСВ, 2005. – 460 с.

3. Видин, Ю.В. Теоретические основы теплотехники: теплообмен / Ю.В. Видин, Р.В. Казаков, В.В. Колосов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Сибирский Федеральный университет. – Красноярск: СФУ, 2015. – 370 с.: ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=497752> (дата обращения: 23.01.2020).

4. Митропов, В.В. Основы теории теплообмена : учебно-методическое пособие: / В.В. Митропов, О.Б. Цветков; Министерство образования и науки Российской Федерации, Университет ИТМО. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. – 126 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=566778> (дата обращения: 23.01.2020).

5. Цветков, Ф.Р. Теплообмен: учебное пособие для вузов / Ф.Р. Цветков, Б.А. Григорьев. – 3-е изд. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2006. – 550 с.

Дополнительная литература

6. Котляр, Я.Н. Методы и задачи теплообмена: учебное пособие для студ. вузов / Я.Н. Котляр, В.Д. Совершенный. – Москва: Машиностроение, 1987. – 318 с.

7. Кутателадзе, С. С. Теплообмен и трение в турбулентном пограничном слое / С.С. Кутателадзе, А.И. Леонтьев. – Москва: Энергия, 1972. – 342 с.

8. Лыков, А.Е. Теплообмен: справочник / А.Е. Лыков. – Москва: Энергия, 1972. – 456 с.

9. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник / В.А. Григорьев [и др.]; под общей ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – Кн. 4. – 586 с.

10. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник // Справ. серия «Теплоэнергетика и теплотехника». – Москва: Энергоиздат, 1982. – 510 с.

11. Цветков, Ф.Р. Задачник по тепломассообмену / Ф.Р. Цветков, Р.В. Керимов; под ред. Ф.Р. Цветкова. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. – 195 с.

Электронные учебно-методические комплексы

1. Овсянник, А. В. Тепломассообмен: электронный учебно-методический комплекс дисциплины / А. В. Овсянник, М. Н. Новиков, А. В. Шаповалов. – Гомель: ГГТУ, 2010 <https://elib.gstu.by/handle/220612/1495>

Перечень компьютерных программ, наглядных и других пособий, методических указаний и материалов и технических средств обучения

1. Тепломассообмен [электронный ресурс]: курс лекций для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» дневной и заочной форм обучения и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной формы обучения / А. В. Овсянник, М. Н. Новиков, А. В. Шаповалов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 212 с. <https://elib.gstu.by/handle/220612/1856>

2. Тепломассообмен: практическое руководство к курсовой работе по одноименному курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» / А. В. Овсянник, М. Н. Новиков, А. В. Шаповалов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 37 с. <https://elib.gstu.by/handle/220612/1011>

3. Тепломассообмен: практикум по одноименному курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения / М. Н. Новиков, А. В. Овсянник, А. В. Шаповалов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 28 с. <https://elib.gstu.by/handle/220612/1417>

4. Тепломассообмен: практикум по выполнению лабораторных работ по одноименному курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения / А. В. Овсянник, И. Н. Дружкин, Ю. А. Степанишина. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 77 с. <https://elib.gstu.by/handle/220612/15327>

Примерный перечень практических занятий

1. Стационарная теплопроводность плоской стенки.
2. Стационарная теплопроводность цилиндрической стенки.

3. Расчет тепловой изоляции труб.
4. Нестационарная теплопроводность.
5. Теплоотдача при вынужденном продольном и поперечном омывании труб.
6. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей.
7. Теплообмен при конденсации чистого пара.
8. Теплообмен излучением между телами в прозрачных и поглощающих средах.
9. Тепловой и гидравлический расчеты теплообменных аппаратов.
10. Конструктивный и прочностной расчет теплообменных аппаратов.
11. Тепловые трубы и термосифоны.

Примерный перечень лабораторных работ

1. Определение коэффициента теплопроводности твердых тел методом пластины.
2. Исследование теплопроводности твердых тел с использованием измерителя ИТЭМ-1М.
3. Определение коэффициента теплопроводности сыпучих материалов методом цилиндров.
4. Измерение теплопроводности на измерителе ИТ- λ -400.
5. Исследование процесса нагрева тел различной конфигурации при нестационарном режиме.
6. Исследование теплоотдачи при естественной конвекции воздуха от горизонтального и вертикального цилиндров.
7. Исследование теплоотдачи при вынужденном движении воздуха.
8. Теплоотдача горизонтальной ребренной трубы при свободной конвекции.
9. Определение коэффициента излучения электропроводящих материалов калориметрическим методом.
10. Исследование процессов кипения и конденсации фреона.
11. Исследование теплового процесса в теплообменном аппарате типа «труба в трубе».
12. Исследование процесса теплопередачи в тепловых трубах.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Основные процессы передачи тепла: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение. Теплоотдача, теплопередача.
2. Основные количественные характеристики процессов переноса теплоты: количество теплоты, тепловой поток, плотность теплового потока, мощность внутренних источников теплоты.
3. Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, твердых диэлектриках.
4. Теплопроводность. Температурное поле.

5. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.
6. Диффуравнение теплопроводности. Коэффициент температуропроводности.
7. Условия однозначности для процессов теплопроводности.
8. Теплопроводность при стационарном режиме: плоская стенка.
9. Теплопроводность при стационарном режиме: цилиндрическая стенка.
10. Граничные условия III-го рода (теплопередача): плоская стенка.
11. Граничные условия III-го рода (теплопередача): цилиндрическая стенка.
12. Критический диаметр тепловой изоляции.
13. Пути интенсификации теплопередачи.
14. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения (стержень бесконечной длины).
15. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения (стержень конечной длины).
16. Теплопередача через ребристую плоскую стенку.
17. Нестационарная теплопроводность. Охлаждение (нагревание) неограниченной пластины, цилиндра, шара.
18. Регулярный режим охлаждения (нагрева) тел. Темп охлаждения.
19. Конвективный теплообмен, общие положения. Закон Ньютона-Рихмана.
20. Свойства теплоносителей.
21. Вынужденная и свободная конвекция.
22. Классификация режимов движения среды. Осреднение основных параметров в турбулентном потоке.
23. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.
24. Гидродинамический и тепловой пограничный слой.
25. Теория подобия. Основные положения.
26. Условия подобия физических процессов.
27. Основные критерии подобия конвективного теплообмена.
28. Получение эмпирических формул.
29. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности (ламинарный пограничный слой).
30. Переход ламинарного течения в турбулентное при вынужденном продольном омывании плоской поверхности.
31. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности (турбулентный пограничный слой).
32. Особенности движения и теплообмена в трубах.
33. Теплоотдача при течении жидкостей в гладких трубах круглого поперечного сечения (ламинарный режим).
34. Теплоотдача при течении жидкостей в гладких трубах круглого поперечного сечения (турбулентный режим).
35. Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании одиночной трубы.

36. Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании пучков труб.
37. Теплоотдача при свободном движении жидкости в ограниченном пространстве.
38. Теплообмен при конденсации чистого пара. Основные положения.
39. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара (вертикальная стенка, горизонтальная труба).
40. Теплообмен при пленочной конденсации движущегося пара внутри труб.
41. Теплообмен при пленочной конденсации движущегося пара на горизонтальных одиночных трубах и пучках труб.
42. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Механизм процесса теплообмена при пузырьковом кипении жидкости. Режимы кипения.
43. Механизм процесса теплообмена при пузырьковом кипении жидкости. Минимальный радиус пузырька.
44. Механизм процесса теплообмена при пузырьковом кипении жидкости. Минимальная работа образования пузырьков критического размера.
45. Скорость роста пузырьков. Отрывной диаметр пузырька.
46. Зависимость теплового потока от температурного напора (кривая кипения). Теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости в условиях свободного движения.
47. Структура двухфазного потока и теплообмен при кипении жидкости внутри труб.
48. Расчет теплоотдачи при пузырьковом кипении в условиях вынужденной конвекции в трубах.
49. Механизм теплообмена при пленочном кипении жидкости.
50. Теплоотдача при ламинарном движении паровой пленки.
51. Теплоотдача при турбулентном движении паровой пленки.
52. Кризисы кипения (первый кризис кипения).
53. Второй кризис кипения. Равновесная плотность теплового потока. Кризисы 1-го и 2-го рода.
54. Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Основные понятия и законы.
55. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена. Уравнение энергии.
56. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена. Уравнение массообмена.
57. Тепло- и массоотдача.
58. Основные законы теплового излучения. Описание процесса.
59. Виды лучистых потоков. Вектор излучения.
60. Законы теплового излучения. Закон Планка.
61. Закон смещения Вина.
62. Закон Планка в безразмерной форме.
63. Закон Стефана – Больцмана.
64. Закон Кирхгофа.

65. Закон косинусов Ламберта.
66. Сложный теплообмен.
67. Классификация теплообменных аппаратов.
68. Теплообменные аппараты. Основные положения и уравнения теплового расчета.
69. Рекуперативные теплообменные аппараты. Кожухотрубчатые теплообменники.
70. Ламельные, спиральные, пластинчатые теплообменные аппараты.
71. Регенеративные теплообменные аппараты и их конструкции.
72. Смесительные теплообменные аппараты.
73. Тепловой расчет теплообменных аппаратов.
74. Среднеарифметическая разность температур (при прямотоке, при противотоке).
75. Конструктивный расчет теплообменных аппаратов.
76. Поверочный расчет теплообменных аппаратов.
77. Компонентный расчет теплообменных аппаратов.
78. Гидравлический расчет теплообменных аппаратов.
79. Прочностной расчет теплообменных аппаратов.
80. Тепловые трубы и термосифоны.

Организация самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы:

- выполнение студентами индивидуальных заданий во время проведения лабораторных и практических занятий;
- подготовка к тестированию по каждому модулю дисциплины;
- изучение справочной и нормативной литературы;
- выполнение курсовой работы;
- подготовка докладов и презентаций по актуальным темам, в том числе не выносимым на лекционные занятия.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Наименование учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1	2	3	4
Промышленные тепломассообменные процессы и установки	«Промышленная теплоэнергетика и экология»	Согласовано	Рекомендовать представленную учебную программу к утверждению

Заведующий кафедрой
«Промышленная теплоэнергетика
и экология», к.т.н., доцент

А.В. Шаповалов