

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учебно-методическое объединение по образованию
в области энергетики и энергетического оборудования

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования
Республики Беларусь

_____ А.Г. Баханович

Регистрационный № _____ /пр.

ТЕПЛОМАССООБМЕН

**Примерная учебная программа по учебной дисциплине
для специальности
7-07-0712-02 Теплоэнергетика и теплотехника**

СОГЛАСОВАНО

Председатель Учебно-методического
объединения по образованию
в области энергетики и энергетического
оборудования

_____ Н.Б. Карницкий

СОГЛАСОВАНО

Начальник Главного управления
профессионального образования
Министерства образования
Республики Беларусь

_____ С.Н. Пищов

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научно-методической
работе Государственного учреждения
образования «Республиканский
институт высшей школы»

_____ И.В. Титович

Эксперт-нормоконтролер

СОСТАВИТЕЛИ:

И.Н. Прокопеня, старший преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» Белорусского национального технического университета

В.В. Янчук, старший преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» Белорусского национального технического университета

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» (протокол № 5 от « 27 » ноября 2024 г.);

А.А. Бобич, заведующий технологическим отделом инженерно-технологического центра РУП «БЕЛТЭИ», кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ПРИМЕРНОЙ:

Кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» Белорусского национального технического университета (протокол № 5 от « 28 » ноября 2024 г.);

Секцией №1 «Совершенствование организации образовательного процесса» Научно-методического совета Белорусского национального технического университета (протокол № 7 от « 30 » декабря 2024 г.);

Учебно-методическим объединением по образованию в области энергетики и энергетического оборудования (протокол № 2 от « 25 » ноября 2024 г.).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Примерная учебная программа по учебной дисциплине «Тепломассообмен» разработана для учреждений высшего образования Республики Беларусь в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования для специальности 7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника». Она предусматривает изучение основных законов теплообмена и их применение в различных теплоэнергетических и теплотехнологических процессах и установках. Дисциплина «Тепломассообмен» является базовой при подготовке инженеров-теплоэнергетиков.

Цель учебной дисциплины – овладение закономерностями основных процессов переноса теплоты и массы, в том числе и протекающих совместно.

Основные задачи учебной дисциплины – приобретение навыков в проведении тепловых расчетов и решении практических задач, связанных с теплообменом в элементах энергетических и теплотехнологических установок, усвоение основных результатов теоретических и экспериментальных исследований и ознакомление с путями решения современных проблем теплообмена.

Учебная дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении таких курсов, как «Математика», «Физика», «Техническая термодинамика», «Гидрогазодинамика». Знания и умения, полученные студентами при изучении данной учебной дисциплины, необходимы для освоения последующих специальных дисциплин и дисциплин специализаций, связанных с проектированием теплообменного оборудования, для выполнения дипломного проектирования, для активного участия в научных исследованиях и практической работе по специальности.

В результате изучения учебной дисциплины «Тепломассообмен» студент должен **знать:**

- терминологию в области теплообмена;
- определения коэффициентов теплопроводности, температуропроводности, кинетической вязкости, молекулярной диффузии;
- законы теплопроводности Фурье, теплоотдачи Ньютона-Рихмана, законы теплового излучения (Планка, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта);
- механизмы передачи теплоты и массы в различных видах конвективного теплообмена;
- 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;
- подобию 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 в стационарных процессах теплопроводности;
- 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.

иметь навык:

- связанный с выполнением тепловых и гидравлических расчетов теплообменных аппаратов;
- в области экспериментальных методов изучения интенсивности теплоотдачи в различных теплоэнергетических и теплотехнологических процессах и установках.

Освоение данной учебной дисциплины обеспечивает формирование следующих компетенций:

- Применять методы научного познания в исследовательской деятельности, генерировать и реализовывать инновационные идеи
- Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности, развивать инновационную восприимчивость и способность к инновационной деятельности
- Применять законы термодинамики и механики жидкости и газа при проектировании основного и вспомогательного оборудования, выполнять исследование процессов тепломассообмена в теплоэнергетических установках

В рамках образовательного процесса по данной учебной дисциплине студент должен приобрести не только теоретические и практические знания, умения и навыки по специальности, но и развить свой ценностно-личностный и духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны.

Программа рассчитана максимально на 280 часов, из них – 162 аудиторных:

для специальности 7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника» распределение аудиторных часов по видам занятий выглядит следующим образом:

лекции – 72 ч.;

практические занятия – 36 ч.;

лабораторные занятия – 54 ч.

На выполнение курсовой работы по учебной дисциплине отведено 40 часов самостоятельной работы.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Наименование раздела и темы	Количество аудиторных часов			
	лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Всего
Раздел I. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ	24	8	12	44
Тема 1.1. Основные процессы передачи теплоты	4	-	-	4
Тема 1.2. Основные положения теории теплопроводности	4	-	-	4
Тема 1.3. Теплопроводность при стационарном режиме	8	4	6	18
Тема 1.4. Теплопроводность при нестационарном режиме	8	4	6	18
Раздел II. КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН	26	8	24	58
Тема 2.1. Подobie и моделирование процессов теплообмена	4	-	-	4
Тема 2.2. Основные положения конвективного теплообмена	4	-	-	4
Тема 2.3. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности	4	2	6	12
Тема 2.4. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах и каналах	4	2	6	12
Тема 2.5. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб	4	2	6	12
Тема 2.6. Теплоотдача при свободном движении жидкости	6	2	6	14
Раздел III. МАССООБМЕН	4	4	-	8
Тема 3.1. Конвективный тепло- и массообмен	2	2	-	4
Тема 3.2. Массо- и теплообмен при испарении конденсации и химических реакциях	2	2	-	4
Раздел IV. ТЕПЛООБМЕН ПРИ ИЗМЕНЕНИИ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ	8	4	8	20
Тема 4.1. Теплообмен при конденсации чистого пара	4	2	4	10
Тема 4.2. Теплообмен при кипении однокомпонентной жидкости	4	2	4	10
Раздел V. ТЕПЛООБМЕН ИЗЛУЧЕНИЕМ	6	6	4	16
Тема 5.1. Основные положения лучистого теплообмена	2	2	-	6
Тема 5.2. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой	2	2	4	6

Тема 5.3. Теплообмен излучением в поглощающих средах	2	2	-	4
Раздел VI. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ	4	6	6	16
Тема 6.1 Теплообменные аппараты и их классификация	2	-	6	8
Тема 6.2. Тепловой расчет теплообменных аппаратов	2	6	-	8
ВСЕГО:	72	36	54	162

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

РАЗДЕЛ I. 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)

Важнейшие этапы развития учения о тепло- и массообмене.

Тема 1.2. Основные положения теории теплопроводности

Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, твердых диэлектриках. Температурное поле. 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 тепловой изоляции трубы. Тепловой поток и температурное поле в шаровой стенке. Теплообмен через ребренные поверхности. Эффективность ребра. Интенсификация процесса теплопередачи.

Тема 1.4. Теплопроводность при нестационарном режиме

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 II. КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН

Тема 2.1. Подобие и моделирование процессов теплообмена

Приведение дифференциальных уравнений конвективного теплообмена и условий однозначности к безразмерному виду. Основные числа и критерии подобия. Понятие о теории размерности. Обработка и обобщение результатов эксперимента. Получение эмпирических уравнений конвективного теплообмена. Сущность моделирования.

Тема 2.2. Основные положения конвективного теплообмена

Конвективный теплообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса. Основные физические факторы, существенные для процессов конвективного теплообмена. 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 2.3. 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. 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 2.4. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах и каналах

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 2.5. 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 2.6. 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 III. МАССООБМЕН

Тема 3.1. Конвективный тепло- и массообмен

Основные положения теории массообмена. Концентрационная, термо- и бародиффузии. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена.

Тема 3.2. 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.

РАЗДЕЛ IV. ТЕПЛООБМЕН ПРИ ИЗМЕНЕНИИ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ

Тема 4.1. 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.

Тема 4.2. 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.

РАЗДЕЛ V. 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.

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»).

Тема 5.3. Теплообмен излучением в поглощающих средах

Поглощательная способность и степень черноты среды. Закон Бугера. Эффективная длина пути луча.

РАЗДЕЛ VI. 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.

Тема 6.2. Тепловой расчет теплообменных аппаратов

Сравнение прямотока с противотоком. Порядок расчета теплообменного аппарата. Средний температурный напор. Тепловая эффективность теплообменного аппарата.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Исаченко В.П. Теплопередача. / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 344 с.
2. Цветков Ф.Р. Тепломассообмен: учебное пособие для вузов / Ф.Р. Цветков, Б.А. Григорьев. – 3-е изд. стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 550 с.
3. Тепло- и массообмен: учеб. пособие. В 2 ч. / Б.М. Хрусталева и др.: под общ. ред. А.П. Несенчука.– Минск: БНТУ, 2007. – 607 с.
4. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача / Б.Н. Юдаев – М.: Высшая школа, 1988. – 412 с.
5. Теплотехника / Под. ред. Луканина. – М.: Высшая школа, 2002. – 396 с.

Дополнительная литература

1. Краснощеков Е.А. Задачник по теплопередаче / Е.А. Краснощеков, А.С. Сукомел – М.: Энергия, 1980. – 196 с.
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. / С.С. Кутателадзе – Новороссийск: Наука, сибирское отд., 1986. – 432 с.
3. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена / Под ред. В.И. Крутова и Г.В. Петражицкого. – М.: Высшая школа, 1986. – 256 с.
4. Практикум по теплопередаче / Под ред. А.П. Солодова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 271 с.
5. Теория тепломассообмена: учебник для вузов / Под ред. А.И. Леонтьева – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 523 с.
6. Цветков Ф.Р. Задачник по тепломассообмену: Учебное пособие для вузов / Ф.Р. Цветков, Р.В. Кириллов, В.И. Величко – М.: Издательство МЭИ, 1997. – 285 с.
7. Авчухов В.В. Задачник по процессам тепломассообмена. учебное пособие для вузов / В.В. Авчухов, Б.Я. Паюсте – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 264 с.

Примерный перечень тем практических занятий

1. Стационарная теплопроводность в плоской и цилиндрической стенках при граничных условиях I и III родов.
2. Нестационарная теплопроводность в неограниченной пластине, цилиндре и в телах конечных размеров. Регулярный режим нагрева тел.
3. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном обтекании плоской пластины.
4. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах и каналах.
5. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб. Расчет теплоотдачи при вынужденном течении жидкости в трубах.
6. Расчет теплоотдачи при свободном движении жидкости.
7. Конвективный массообмен.
8. Теплоотдача при конденсации чистого пара.

9. Теплоотдача при кипении.
10. Теплообмен излучением.
11. Теплообменные аппараты.

Примерный перечень тем лабораторных занятий

1. Определение коэффициента теплопроводности материалов методов плоского слоя.
2. Определение коэффициента теплопроводности методом трубы.
3. Определение коэффициента теплопроводности методом шара.
4. Исследование нагрева тел различной конфигурации.
5. Определение коэффициента теплопроводности методом регулярного режима.
6. Теплоотдача вертикального цилиндра при естественной конвекции.
7. Теплоотдача горизонтального цилиндра при естественной конвекции.
8. Теплоотдача при вынужденном движении воздуха в трубе.
9. Определение коэффициента излучения твердого тела калориметрическим методом.
10. Исследование работы теплообменного аппарата.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- контролируемая самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудитории во время проведения практических занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- управляемая самостоятельная работа, в том числе в виде выполнения индивидуальных расчетных заданий с консультациями преподавателя;
- выполнение расчетно-графических работ;
- проработка тем (вопросов), вынесенных на самостоятельное изучение;

Характеристика рекомендуемых методов и технологий обучения

Рекомендуемыми методами обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, реализуемые на практических занятиях (или лабораторных занятиях) и при самостоятельной работе;
- коммуникативные технологии (дискуссия, учебные дебаты, «мозговой штурм» и другие формы и методы), реализуемые на практических занятиях и конференциях;
- проектные технологии, используемые при проектировании конкретного объекта, реализуемые при выполнении курсовой работы.

Примерная тематика расчетно-графических работ

1. Расчет теплопроводности при стационарном режиме.
2. Расчет теплопроводности при нестационарном режиме.
3. Расчет теплоотдачи при вынужденном движении жидкостей в трубе.
4. Расчет теплоотдачи при свободном движении жидкости.
5. Расчет теплоотдачи при конденсации пара и при кипении.
6. Расчет теплообмена излучением в диатермических и поглощающих средах.
7. Расчет теплообменного аппарата.

Примерный перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы

1. Теория теплообмена. Основные положения.
2. Теплоотдача в турбулентном пограничном слое при продольном омывании пластины.
3. Конденсация. Термическое сопротивление при конденсации чистого пара.
4. Температурное поле. Температурный градиент.
5. Регулярный режим охлаждения (нагрева) тел.
6. Лучеиспускательная, поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел.
7. Тепловой поток. Закон теплопроводности Фурье.
8. Темп охлаждения. Теоремы Кондратьева.
9. Теплообмен при конденсации и ламинарном режиме течения пленки конденсата.
10. Интенсификация процесса теплопередачи.
11. Теплоотдача при ламинарном режиме течения жидкости в трубах.
12. Теплоотдача при пленочной конденсации пара на горизонтальной трубе.
13. Коэффициент теплопроводности. Теплопроводность различных материалов.
14. Теплоотдача при турбулентном режиме течения в трубах.
15. Теплообмен при конденсации пара на трубных пучках.
16. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
17. Конвективный теплообмен. Основные понятия.
18. Теплообмен при капельной конденсации.
19. Условия однозначности. Граничные условия.
20. Теплоотдача при течении жидкости в каналах произвольной формы.
21. Механизм теплообмена при пузырьковом кипении жидкости. Минимальный радиус парового пузыря.
22. Стационарная теплопроводность через плоскую стенку.
23. Теплоотдача при поперечном обтекании одиночной круглой трубы.
24. Краевой угол смачивания. Отрывной диаметр пузыря при кипении.
25. Теплопередача через плоскую стенку.
26. Уравнение сплошности (неразрывности) потока.
27. Зависимость плотности теплового потока и коэффициента теплоотдачи при кипении от температурного напора.
28. Теплопроводность через цилиндрическую стенку.
29. Уравнение движения (Навье-Стокса).

30. Теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости.
31. Теплопередача через цилиндрическую стенку.
32. Основы теории пограничного слоя.
33. Механизм процесса теплообмена при кипении.
34. Тепловая изоляция. Критический диаметр изоляции.
35. Основы теории подобия конвективного теплообмена.
36. Числа подобия при конденсации (Рейнольдса, Прандтля, Грасгофа, Кутателадзе, Нуссельта).
37. Теплопроводность через шаровую стенку.
38. Гидромеханическое подобие конвективного теплообмена.
39. Влияние направления и скорости движения пара на теплообмен при конденсации.
40. Тепловое подобие.
41. Гидродинамическая теория теплообмена.
42. Критическая плотность теплового потока при кипении.
43. Интенсификация процесса теплопередачи.
44. Теплоотдача при свободном движении теплоносителя в неограниченном пространстве.
45. Теплообмен излучения. Угловые коэффициенты излучения.
46. Нестационарная теплопроводность.
47. Основные уравнения переноса субстанций.
48. Равновесное излучение. Закон Планка.
49. Общее решение уравнения одномерной нестационарной теплопроводности.
50. Гидродинамические числа подобия.
51. Закон излучения Стефана-Больцмана.
52. Охлаждение (нагревание) неограниченной пластины.
53. Числа теплового подобия.
54. Закон излучения Кирхгофа.
55. Графики (номограммы) для решения задач нестационарной теплопроводности.
56. Особенности движения жидкости при продольном омывании пластины.
57. Закон излучения Вина.
58. Частные случаи охлаждения (нагревания) неограниченной пластины.
59. Гидродинамические числа подобия.
60. Закон излучения Ламберта.
61. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
62. Теплоотдача при движении жидкости внутри труб. Ламинарный режим.
63. Теплообмен излучением между телами разделенными прозрачной средой.
64. Теплопроводность через цилиндрическую стенку.
65. Метод размерностей.
66. Теплообмен излучением при наличии экранов.
67. Интенсификация процесса теплопередачи.
68. Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб.
69. Теплообмен излучением между телом и его оболочкой.
70. Теплопередача через плоскую стенку.
71. Получение эмпирических формул (критериальных зависимостей).
72. Коэффициент излучения твердых тел и методы его определения.

73. Коэффициент теплопроводности.
74. Свободная конвекция в ограниченном пространстве.
75. Тепловой и гидромеханический расчеты теплообменных аппаратов.
76. Коэффициент теплопроводности.
77. Регулярный режим охлаждения (нагрева) тела. Темп охлаждения.
78. Гидродинамическое подобие.
79. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
80. Охлаждение и нагревание неограниченной пластины.
81. Сложный теплообмен. Радиационно-конвективный и радиационно-кондуктивный теплообмен.
82. Способы задания граничных условий.
83. Конвективный теплообмен. Основные положения.
84. Числа радиационного подобия (Больцмана, Кирпичева, Старка).
85. Перенос теплоты (теплопередача) через плоскую однослойную и многослойные стенки.
86. Дифференциальное уравнение сохранения энергии.
87. Теория подобия.
88. Перенос теплоты (теплопередача) через цилиндрические однослойную и многослойную стенки.
89. Режимы движения жидкости (ламинарный и турбулентный). Коэффициенты трения и гидравлического сопротивления в трубах.
90. Теплообменные аппараты. Схемы движения теплоносителей. Конструктивное исполнение.

Компьютерные программы, электронные учебно-методические пособия

1. Тепломассообмен. Конспект лекций : электронный учебно-методический комплекс / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника" ; сост. Н. Н. Сапун. – Минск : БНТУ, 2013. – 152 с.
2. Тепломассообмен. Учебное пособие к практическим занятиям : электронный учебно-методический комплекс / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника" ; сост. Н. Н. Сапун. – Минск : БНТУ, 2013. – 74 с.
3. Тепломассообмен. Лабораторный практикум: электронный учебно-методический комплекс / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника" ; сост. Н. Н. Сапун. – Минск : БНТУ, 2013. – 64 с.
4. Тепломассообмен. Инструкция по лабораторным работам : электронный учебно-методический комплекс / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника" ; сост. Н. Н. Сапун. – Минск : БНТУ, 2013. – 45 с.
5. Тепломассообмен. Расчетно-графические работы : электронный учебно-методический комплекс / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника" ; сост. Н. Н. Сапун. – Минск : БНТУ, 2013. – 8 с.

6. Тепломассообмен. Контрольные работы : электронный учебно-методический комплекс / Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника" ; сост. Н. Н. Сапун. – Минск : БНТУ, 2013. – 146 с.