

УТВЕРЖДАЮ
Проректор-директор ЭНИН
_____ Ю.С. Боровиков
«___» _____ 2013 г.

БАЗОВАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕПЛОМАССОБМЕН

Направление ООП: 140100 - Теплоэнергетика и теплотехника
Профиль подготовки: промышленная теплоэнергетика, тепловые электрические станции
Квалификация (степень): Бакалавр
Базовый учебный план приема 2013 г.
Курс 2; Семестр 5
Количество кредитов: 6
Код дисциплины ПЦ.Б.11.0

Виды учебной деятельности	Временной ресурс по очной форме обучения
Лекции, ч.	32
Практические занятия, ч	24
Лабораторные занятия, ч	16
Аудиторные занятия, ч	72
Самостоятельная работа, ч	63
ИТОГО, ч	135

Вид промежуточной аттестации: Экзамен в 5 семестре
Обеспечивающее подразделение: «Кафедра теоретической и промышленной теплотехники»

Заведующий кафедрой _____ Кузнецов Г.В.
Руководитель ООП: _____ Антонова А.М.
Преподаватель: _____ Борисов Б.В.

2013 г.

1. Цели освоения дисциплины

В результате освоения данной дисциплины бакалавр приобретает знания, умения и навыки, обеспечивающие достижение Ц1, Ц3, Ц6 основной образовательной программы «Теплоэнергетика и теплотехника».

Дисциплина нацелена на подготовку специалистов к:

- проектной, организационно-управленческой, экспертно-надзорной видам деятельности в области создания и эксплуатации теплоэнергетического оборудования с использованием современных технологий высокоэффективного получения, транспортировки и использования теплоты;
- научно-исследовательской деятельности связанной с разработкой, выбором, оптимизацией методов и оборудования для получения, транспортировки и использования теплоты;
- процессу непрерывного самостоятельного совершенствования профессиональных знаний и умений.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Курс «Техническая термодинамика» относится к профессиональному циклу дисциплин для студентов направления 140100 – «Теплоэнергетика и теплотехника» (Б3.Б8). Он непосредственно связан с дисциплинами математического и естественнонаучного профиля: Б2.Б1 «Математика», Б2.Б2 «Физика», Б2.Б3 «Химия», Б2.В2 «Теория вероятности и математическая статистика», Б.8.0 «Техническая термодинамика», в результате изучения которых студент должен:

знать основы дифференциального и интегрального исчисления функций, аналитической геометрии и линейной алгебры, теории обыкновенных дифференциальных уравнений, интегральных преобразований, численных методов, теории функций комплексной переменной; основные законы физики, химии, технической термодинамики, принципы применения современных информационных технологий в науке и предметной деятельности;

уметь использовать математический аппарат при изучении естественнонаучных дисциплин; строить математические модели физических, химических и термодинамических процессов; проводить физический эксперимент и обрабатывать его результаты с привлечением методов математической статистики, работать на компьютере (знание операционной системы, использование основных математических программ, программ отображения результатов, публикации, поиска информации через Интернет, пользование электронной почтой);

владеть методами дифференцирования, интегрирования функций, основными аналитическими и численными методами решения алгебраических и дифференциальных уравнений и их систем, основными методами теоретического и экспериментального исследования физических явлений, современными методами поиска и обработки информации.

Кроме того, *региональный компонент* ОС ООП предполагает следующие компоненты:

- **знать** особенности климатических зон России и, в частности, Азиатско-Тихоокеанского региона России, определяющие условия проектирования и функционирования систем энергоснабжения;
- **иметь** представление о структуре топливно-энергетического баланса Сибири и Дальнего Востока и направлениях его развития на перспективу;
- **знать** особенности формирования структуры промышленных районов Азиатско-Тихоокеанского региона России.

университетский компонент:

- **знать** историю становления школы энергетиков Томского политехнического университета, основные этапы ее развития, главные научные и инженерно-технические достижения и использовать их в своей профессиональной деятельности для повышения престижа университета;
- **уметь** проводить физические и численные исследования тепловых процессов с использованием и адаптацией автоматизированных систем научных исследований для управления проведением экспериментов и обработки их результатов;
- **способность** осуществлять свою профессиональную деятельность с учетом особенностей различных климатических зон Азиатско-Тихоокеанского региона России, существующих экологических ограничений, структуры топливно-энергетического баланса и перспектив его развития с использованием теоретических и практических достижений ученых-энергетиков Томского политехнического университета.

Коррективитами дисциплины «Тепломассообмен» являются специальные дисциплины: БЗ.Б10 Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях, БЗ.Б11 «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», БЗ.В3 «Тепловые и атомные электрические станции», БЗ.В.1.1, БЗ.В.2.1 «Котельные установки и парогенераторы», БЗ.В.1.4 Паротурбинные и парогазовые установки, БЗ.В.2.2 «Источники и системы теплоснабжения предприятий», БЗ.В.2.3 «Тепломассообменное оборудование предприятий», БЗ.В.2.4 «Проектирование и эксплуатация систем отопления, вентиляции и кондиционирования».

3. Результаты освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен самостоятельно выполнять расчетные работы, связанные с созданием и анализом работы теплотехнических приборов для успешной работы в коллективах по разработке, проектированию и эксплуатации различных систем.

Результатом изучения дисциплины является формирование:

знаний законов и основных физико-математических моделей переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам.;

умений рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью интенсификации процессов тепломассообмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты; рассчитывать передаваемые тепловые потоки; оценивать их потенциал;

владений основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования.

Соответствие результатов освоения дисциплины «Тепломассообмен» формируемым компетенциям ООП представлено в таблице.

Таблица 1.

Составляющие результатов обучения, которые будут получены при изучении данной дисциплины

Результаты Обучения (компетенции Из ФГОС)	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р2 (ОК-3)	32.3	основ профессиональной этики и норм профессиональной деятельности на теплоэнергетическом производстве	У2.3	демонстрировать личную ответственность при ведении профессиональной деятельности	В2.1	руководства отдельными группами исполнителей при решении комплексных инженерных задач
Р7 (ПК-2,3)	37.1	основных законов естественнонаучных и математических дисциплин	У7.1	использовать основные законы естественнонаучных и математических дисциплин в инженерной деятельности в процессах производства, трансформации, транспортировки тепловой и электрической энергии и управления этими процессами	В7.1	создания моделей процессов производства, трансформации, транспортировки тепловой и электрической энергии с использованием основных законов естественнонаучных и математических дисциплин

P10(ПК-18)	310.2 310.4	методик обработки результатов экспериментов и соответствующих пакетов прикладных программ;	У10.2	проводить стандартные испытания по определению теплофизических и термодинамических свойств жидкостей и газов	В10.2	экспериментального определения теплофизических и термодинамических свойств жидкостей и газов
P12 (ПК-12,25)	312.1	критериев выбора и создания теплоэнергетического оборудования, средств измерения и автоматизации	У12.1	пользоваться инструментами и технологией ведения практической инженерной деятельности	В12.1	пользоваться инструментами и технологией ведения практической инженерной деятельности
P15 (ПК-25)	315.1	методик испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования	У15.1	контролировать работу системы АСУ объектом	В15.1	использования методик испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства

В результате освоения дисциплины «Тепломассообмен» студентом должны быть достигнуты следующие результаты

Планируемые результаты освоения дисциплины «Тепломассообмен»

Таблица № 2

№	Результат
РД 1	Освоить основные понятия и определения тепломассообмена
РД 2	Освоить понятия и закономерности основных процессов переноса теплоты
РД3	Освоить методы анализа полей температур при различных процессах тепломассопереноса
РД4	Освоить методы экспериментальной оценки параметров тепломассопереноса
РД5	Освоить методы определение тепловых потоков применительно к основным теплотехническим приборам

ДЕКОМПОЗИЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Таблица 1.

Результаты обучения	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р7	37.1	основных законов естественнонаучных и математических дисциплин	У.7.1	использовать основные законы естественнонаучных и математических дисциплин в инженерной деятельности в процессах производства, трансформации, транспортировки тепловой и электрической энергии и управления этими процессами	В.7.1	создания моделей процессов производства, трансформации, транспортировки тепловой и электрической энергии с использованием основных законов естественнонаучных и математических дисциплин
Р8	38.1	базовых и специальных профессиональных дисциплин, нормативной документации	У8.1	использовать базовые и специальные профессиональные знания, нормативную документацию при проектировании процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации	В8.1	проектирования оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации
	38.2	методов математического анализа и моделирования, в том числе с применением пакетов прикладных программ	У8.2	проводить теоретические и экспериментальные исследования процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации с использованием методов математического анализа и	В8.2	проведения анализа процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации

				моделирования и пакетов прикладных программ		
	38.3	основ теоретического и экспериментального исследования процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники, их автоматизации, в том числе с использованием пакетов прикладных программ			В8.3	использования пакетов прикладных программ для исследования процессов и оборудования теплоэнергетики и теплотехники
Р10	310.1	методов, основных этапов и задач планирования теоретических и прикладных исследований	У10.1	обрабатывать результаты экспериментов, в том числе с использованием пакетов прикладных программ	В10.1	работы с экспериментальным оборудованием и исследовательскими приборами, в том числе с использованием средств автоматизации
	310.2	методик обработки результатов экспериментов и соответствующих пакетов прикладных программ	У10.2	проводить стандартные испытания по определению теплофизических и термодинамических свойств жидкостей и газов	В10.2	экспериментального определения теплофизических и термодинамических свойств жидкостей и газов
	310.3	методов стандартных испытаний по определению теплофизических и термодинамических свойств жидкостей и газов	У10.3	составлять аналитические обзоры по научно-технической тематике	В10.3	использования аналитического обзора по научно-технической тематике при работе над инновационными проектами

В связи с этим программа предусматривает усиление практической подготовки студентов за счет активизации их самостоятельной работы, применение вычислительной техники при выполнении расчетных заданий, контрольных работ, а также лабораторного практикума. Предусматривается также интенсификация всех видов учебного процесса за счет использования технических средств обучения.

Кроме того, одной из задач курса является развитие у студентов творческих способностей и исследовательских навыков путем выполнения лабора-

торных работ, практических занятий и индивидуальных домашних заданий с элементами научных исследований (ЭНИ).

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Аннотированное содержание дисциплины

4.1 Содержание теоретических разделов дисциплины «Тепломассообмен» (32 часа):

Раздел 1. Введение. Понятия, параметры и основные законы теплообмена. Теплопроводность

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

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

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

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

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

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

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

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

Перечень лабораторных работ по разделу:

1. Определение коэффициента теплопроводности воздуха методом нагретой нити.
2. Определение степени черноты вольфрамовой проволоки.

Перечень практических занятий:

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

Самостоятельная работа студентов:

Самостоятельно студенты расширяют и углубляют знания, получаемые на лекционных и практических занятиях с использованием дополнительной литературы.

Раздел 2. Основные понятия и закономерности конвективного тепло- и массообмена.

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

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

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

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

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

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

Теплообмен при конденсации пара. Пленочная и капельная конденсация. Конденсация пара на вертикальных стенках. Теплоотдача при ламинарном течении пленки. Метод теоретического расчета. Влияние различных факторов на теплоотдачу. Теплоотдача при смешанном режиме стекания пленки конденсата; метод расчета; расчетные уравнения для теплоотдачи. Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках труб. Характер обтекания конденсатом пучков труб, изменение теплоотдачи по рядам, влияние скорости пара и других факторов. Расчет теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальных пучках труб.

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

Конвективный тепло- и массообмен. Основные положения теории массообмена. Концентрационная термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Факторы, влияющие на коэффициент диффузии. Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса

вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена. Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений диффузионного пограничного слоя. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Коэффициент массоотдачи. Применение методов подобия и размерностей к процессам массообмена. Диффузионное число Нуссельта, диффузионное число Прандтля. Аналогия процессов тепло- и массообмена.

Раздел 3. Основные понятия и закономерности теплообмена излучением.

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

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

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

Перечень лабораторных работ по разделу:

1. Определение параметров вынужденного движения жидкости по трубам;
2. Исследование теплопередачи при вынужденном движении жидкости по трубам.

Перечень практических занятий:

1. Расчеты теплоотдачи при свободно-конвективном движении жидкости в неограниченном объеме;
2. Расчеты теплоотдачи при свободно-конвективном движении жидкости в ограниченном объеме;
3. Расчеты теплоотдачи при вынужденном движении жидкости;
4. Расчеты теплопередачи через плоские и цилиндрические стенки, разделяющие свободно-конвективное движение и вынужденную конвекцию жидкостей;
5. Расчеты теплоотдачи при конденсации Расчеты теплоотдачи при парообразовании.

Самостоятельная работа студентов:

Самостоятельно студенты расширяют и углубляют знания, получаемые на лекционных и практических занятиях с использованием дополнительной литературы.

Раздел 2. Понятия сложного теплообмена. Теплообменники

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

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

Перечень лабораторных работ по разделу:

Определение коэффициента теплопередачи при вынужденной конвекции по оребренным трубам.

Перечень практических занятий:

1. Расчеты теплопередачи через плоские и цилиндрические стенки, с различными механизмами и режимами теплоотдачи на поверхностях;
2. Расчеты теплообмена излучением системы тел, разделенных диатермической средой;
3. Расчеты теплообмена излучающего газа с поверхностью;
4. Расчеты теплообменных аппаратов.

Самостоятельная работа студентов:

Самостоятельно студенты расширяют и углубляют знания, получаемые на лекционных и практических занятиях с использованием дополнительной литературы.

4.2 Структура дисциплины по разделам и формам организации обучения

Таблица 2.

Структура дисциплины по разделам и формам организации обучения

Название раздела/темы	Аудиторная работа (час)			СРС (час)	Колл, Контр.п р.	Итого
	Лек-ции	Практ./сем. Занятия	Лаб. зан.			
Стационарная теплопроводность и теплопередача	6	5	4	26	2	43

Нестационарная теплопроводность	4	2	2	10	2	20
Конвективный тепло- и массообмен. Теплообмен при изменении агрегатного состояния	16	10	8	30	2	66
Радиационный теплообмен. Сложный теплообмен.	10	4	2	24	2	42
Итого	36	19	18	90	8	171

5. Образовательные технологии

При освоении дисциплины используются следующие сочетания видов учебной работы с методами и формами активизации познавательной деятельности студентов для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций.

Таблица 4.

Методы и формы организации обучения (ФОО)

Методы \ ФОО	Лекц.	Лаб. Раб.	Пр. зан.	СРС
IT методы				
Работа в команде		+	+	
Case-study				
Игра				
Методы проблемного обучения	+			+
Обучение на основе опыта	+	+	+	
Опережающая самостоятельная работа	+		+	+

Проектный метод				
Поисковый метод			+	+
Исследовательский метод		+	+	+
Другие методы				

6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

6.1 Текущая СРС, направленная на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений, содержит следующие виды работ:

- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- выполнение домашних заданий;
- опережающая самостоятельная работа;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- подготовка к лабораторным работам;
- подготовка к контрольным работам и экзамену.

Для повышения эффективности самостоятельной работы студентам рекомендуется использовать разработанные сотрудниками кафедры и изданные в ТПУ учебно-методические указания и работы (см. раздел "Учебно-методическое обеспечение курса").

6.2 Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа (ТСР), ориентированная на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала студентов, включает следующие виды работ по основным проблемам курса:

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме;
- исследовательская работа.

Темы индивидуальных заданий:

- расчет стационарной теплопередачи цилиндрической стенки;
- расчет нестационарной теплопроводности;
- расчет конвективной теплоотдачи;
- расчет теплоотдачи при изменении агрегатного состояния;
- расчет параметров теплообмена излучением в системе тел, разделенных диатермической средой.

6.3 Контроль самостоятельной работы

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей.

Цель контроля состоит в оценке уровня знаний и умений, приобретаемых студентами в процессе изучения всех разделов курса.

Применение различных форм контроля знаний расширяет возможности индивидуального подхода к изучению курса "Тепломассообмен" и позволяет развивать творческие способности студента.

К таким формам контроля относятся:

1. Контроль изучения и усвоения теоретического материала курса, который проводится в течение семестра по программам безмашинного контроля, разработанным на кафедре, контрольных работ (коллоквиумов), а также защиты индивидуальных заданий.

2. Контроль и оценка уровня знаний и умений, приобретаемых на практических и лабораторных занятиях, проводится в виде оценки каждого заня-

тия, выполнения в срок индивидуального задания и защиты отчета по лабораторной работе.

3. Тематический (рубежный) контроль проводится не менее трех раз в семестр на основе рейтинговой системы.

4. Итоговый контроль проводится в конце пятого семестра (экзамен) по всем разделам курса с помощью экзаменационных билетов, которые используются также при проведении ежегодных олимпиад в университете.

Базы тестовых заданий для самоконтроля по курсу

«Тепломассообмен»

Первый вопрос

1. Температурное поле, градиент температуры. Закон (гипотеза) Фурье.
2. Температура, тепло, тепловой поток, плотность, теплового потока, линейная плотность теплового потока, термическое сопротивление и его виды.
3. Расчет сложного теплообмена. Последовательная и параллельная передача теплоты. Теплопередача.
4. Основной закон конвективного теплообмена (Ньютона-Рихмана). Внешнее термическое сопротивление.
5. Дифференциальные уравнения теплопроводности (вывод). Смысл коэффициентов теплопроводности и температуропроводности
6. Условия однозначности для уравнения теплопроводности. Краевые условия.
7. Стационарная теплопередача через плоскую одно- и многослойную стенку.
8. Различие в теплопередаче через плоскую и цилиндрическую многослойные стенки. Критический диаметр изоляции.
9. Изоляция трубопроводов. Критический диаметр изоляции.
10. Определение коэффициента теплопроводности λ стационарными способами (на примере указанном преподавателем).
11. Пути интенсификации процессов теплопередачи. Оребрение.
12. Коэффициент эффективности ребра ϵ . Физический смысл случаев $\epsilon=1, \epsilon=0, 0<\epsilon<1$.
13. Коэффициент теплопередачи через стенку, оребренную с одной стороны.
14. Теплопроводность стержня, нагреваемого с одного конца (стержень конечной длины) общее решение: $\theta = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}$.
15. Теплопроводность стержня, нагреваемого с одного конца (стержень бесконечной длины) общее решение: $\theta = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}$.
16. Теплопроводность пластины с равномерно распределёнными внутренними источниками тепла q_v , Вт/м³ при граничных условиях I и III рода.

17. Физический смысл Bi , fo . Что значит $Bi < 0,1$, $Bi > 100$, $Fo > 0,3$ (пластина), $Fo > 0,25$ (цилиндр).
18. Температурное поле в бесконечной пластине при нагревании (охлаждении) при $Fo \geq 0,3$. Номограммы для определения температур центра и поверхности. Общее решение имеет вид:
- $$\Theta = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2 \cdot \sin \mu_i}{\mu_i + \sin \mu_i \cdot \cos \mu_i} \cdot \cos(\mu_i \cdot X) \cdot \exp(-\mu_i^2 \cdot Fo).$$
19. Определение количества теплоты, теряемой безграничной пластины в процессе охлаждения.
20. Понятие регулярного режима при нагреве (охлаждении тела).
21. Нестационарная теплопроводность тел конечных размеров. Пути решения.
22. Теорема о перемножении решений для расчета теплопроводности тел конечных размеров. Показать на примере ограниченного цилиндра.
23. Понятие термически тонкого тела. Изменение температуры в термически тонкой пластине.
24. Понятие термически тонкого тела. Изменение температуры в термически тонком цилиндре.
25. Понятие термически тонкого тела. Изменение температуры в термически тонкой сфере.

Второй вопрос

1. В чём причины привлечения уравнений движения и неразрывности для моделирования конвективного теплообмена.
2. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.
3. Условия однозначности для дифференциального уравнения конвективного теплообмена.
4. Понятие гидродинамического пограничного слоя. Толщина гидродинамического пограничного слоя
5. Понятие теплового пограничного слоя. Его связь с толщиной гидродинамического пограничного слоя и коэффициентом теплоотдачи.
6. Подобие физических процессов. Критерии подобия.
7. Гидромеханическое подобие. Критерии и их физический смысл
8. Моделирование процессов теплообмена, правила моделирования, получение критериальных уравнений.
9. Особенности моделирования теплоотдачи при ламинарном и турбулентном течении жидкости.
10. Обработка и обобщение опытных данных при моделировании процессов теплообмена на примере экспериментального определения α свободой конвекции вокруг горизонтального цилиндра.
11. Обработка и обобщение опытных данных при моделировании процессов теплообмена на примере экспериментального определения α вынужденной конвекции вдоль плоской поверхности.

12. Критерии подобия Bi , Fo , Nu , Re , Pr , Gr , Ra , Pe , Ar и их физический смысл.
13. Физический смысл поправки $\varepsilon_t = (Pr_{ж}/Pr_c)^m$.
14. Расчёт теплоотдачи при свободной конвекции в неограниченном пространстве.
15. Расчет теплоотдачи при свободной конвекции около вертикальной поверхности.
16. Расчет теплоотдачи при свободной конвекции около горизонтальных труб.
17. Особенности расчёта теплоотдачи при свободной конвекции в ограниченном пространстве.
18. Теплоотдача при внешнем обтекании пластины.
19. Теплообмен при вынужденном движении жидкости по трубам и каналам.
20. Особенности расчёта теплоотдачи при вынужденном течении жидкости в «длинных» и «коротких» трубах (каналах).
21. Расчет теплоотдачи при вынужденном ламинарном течении жидкости в трубах и каналах.
22. Расчет теплоотдачи при вынужденном турбулентном течении жидкости в трубах и каналах.
23. Особенности расчета теплоотдачи при переходном режиме вынужденного течения жидкости в трубах и каналах.
24. Теплоотдача при внешнем обтекании одиночных труб и пучков труб.
25. Средний коэффициент теплоотдачи при внешнем обтекании пучков труб.

Третий вопрос

1. Особенности расчёта теплоотдачи при фазовых переходах.
2. Теплоотдача при конденсации неподвижного сухого пара на вертикальной поверхности.
3. Особенности теплоотдачи при конденсации пара на пучках труб.
4. Кривая кипения при «паровом» и «электрическом обогреве поверхности», фазы процесса, критические плотности теплового потока
5. Теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости в большом объеме.
6. Основные предпосылки и допущения модели кружилина для пузырькового кипения в большом объёме.
7. Структура двухфазного потока в трубах парогенератора.
8. Расчёт теплоотдачи при кипении движущейся жидкости в трубах.
9. Основные законы лучистого теплообмена.
10. Закон Кирхгофа.
11. Закон Ламберта.
12. Связь законов Стефана-Больцмана и Планка.

13. Связь эффективного и результирующего потоков лучистой энергии.
14. Расчет количества лучистой энергии, идущей с одного тела на другое в диатермичной среде. Угловой коэффициент и взаимная поверхность
15. Угловой коэффициент и взаимная поверхность. Методы их определения.
16. Метод поточной алгебры для определения угловых коэффициентов.
17. Теплообмен излучением между двумя параллельными пластинами при наличии экрана между ними.
18. Расчет теплообмена излучением между двумя телами, одно из которых находится в полости другого.
19. Расчет теплообмена излучением между излучающим газом и стенкой
20. Теплообменные аппараты. Классификация.
21. Основные уравнения для расчётов параметров в рекуператорах. Разновидности расчётов.
22. Схемы движения теплоносителей. Цель конструкторского и поверочного расчетов теплообменников.
23. Особенности анализа схем движения теплоносителей при фазовых переходах.
24. Вычисление среднего температурного напора в теплообменниках.
25. Расчет среднего температурного напора для теплообменных аппаратов со сложной схемой движения теплоносителей.

6.4 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Список основной и дополнительной литературы, перечень программного обеспечения и электронных образовательных ресурсов указаны в разделе 8 данной рабочей программы.

1. Лекции.

2. Демонстрационные плакаты.

3. Практические и лабораторные занятия.

7. Средства (ФОС) текущей и итоговой оценки качества освоения дисциплины

Для объективного контроля качества знаний студентов была разработана независимая экспертная система, базирующаяся на единых подходах к со-

держанию, форме, анализу результатов и включающая стандартизованные измерители параметров качества знаний. Поскольку изучению курса «Тепло-массообмен» предшествуют «Физика», «Химия», «Высшая математика», «Техническая термодинамика», на базе которых начинается освоение курса, были разработаны тестовые задачи входного контроля, включающие вопросы по каждой из дисциплин. По всем темам курса «Тепло-массообмен» для текущего контроля были разработаны билеты с вопросами, часть из которых вошла для проверки остаточных знаний.

В соответствии с рейтинговой системой текущий контроль успеваемости производится ежемесячно в течение семестра путем балльной оценки качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы) и результатов практической деятельности.

Промежуточная аттестация проводится в конце семестра также путем балльной оценки. Итоговый рейтинг определяется суммированием баллов текущей оценки в течение семестра и баллов промежуточной аттестации в конце семестра по результатам зачета.

Оценка успеваемости студентов осуществляется по результатам:

- текущего контроля (проводится в конце изучения раздела, согласно учебно-методической карте дисциплины, составленной на семестр);
- самостоятельного (под контролем преподавателя) выполнения лабораторных работ;
- анализа подготовленных студентами рефератов;
- устного опроса при сдаче выполненных индивидуальных заданий;
- защиты отчетов по лабораторным работам;
- тестирования в образовательной среде WebCT.
- экзамена (для выявления знания и понимания теоретического материала дисциплины).

7.1 Пример экзаменационного билета

Билет № ...



Экзамен по дисциплине: ТМО
Институт: Энергетический
Кафедра: ТПТ Курс: 3

1. Основной закон конвективного теплообмена (Ньютона-Рихмана). Внешнее термическое сопротивление.
2. Особенности расчёта теплоотдачи при вынужденном течении жидкости в «длинных» и «коротких» трубах (каналах).
3. Закон Кирхгофа.

Составил:

Проф. каф. ТПТ _____ / Борисов Б.В. /

Утверждаю:

Зав. каф. ТПТ _____ /Кузнецов Г.В. /

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение

ДИСЦИПЛИНЫ

• *основная литература:*

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981.
2. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. – М.: Энергия, 1980. – 288с.
3. Практикум по теплопередаче.: Учеб. пособие для ВУЗов/ А.П. Солодов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 296 с.
4. Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен: Учебное пособие для ВУЗов/ Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев – 3-е изд., перераб. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 550 с., ил.
5. Цветков Ф.Ф. Задачник по тепломассообмену: Учебное пособие /Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. – 2-ое изд., испр. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008, - 196 с., ил.
6. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
7. Практикум по теплопередаче /Под ред. А.П. Солодова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 296 с.
8. Галин Н.М., Кириллов П.Л. Тепломассообмен (в ядерной энергетике). – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 376 с.
9. Тепло-и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник /Под ред.

дополнительная литература:

1. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.
2. Теплотехника. Учебник для вузов /Луканин В.Н. и др. Под редакцией В.Н. Луканина. 4 изд. – М.: Высшая школа, 2003. – 671 с.
3. Коновалова Л.С., Загромов Ю.А. Теоретические основы теплотехники. Теплопередача: Учебн. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 118 с.
4. . Коновалова Л.С., Загромов Ю.А. Теоретические основы теплотехники. Примеры и задачи. Учебн. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 116 с.

5. Коновалова Л.С., Загромов Ю.А. Теоретические основы теплотехники. Примеры и задачи. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001 – 116 с.
6. Коновалова Л.С. Тепломассообмен. Методические указания и задачи для самостоятельной работы по разделу "Теплопроводность и теплопередача". – Томск: Изд. ТПУ, 1994 – 33 с.
7. Коновалова Л.С. Тепломассообмен. Методические указания и задачи для самостоятельной работы по разделам "Теплоотдача и теплопередача обретенных поверхностей. Стационарная теплопроводность тел с внутренними источниками тепла". – Томск: Изд. ТПУ, 1994 – 24 с.
8. Коновалова Л.С. Тепломассообмен. Методические указания и задачи для самостоятельной работы по разделу "Нестационарная теплопроводность". – Томск: Изд. ТПУ, 1994 – 29 с.
9. Коновалова Л.С. Тепломассообмен. Методические указания и задачи для самостоятельной работы по разделу "Расчет теплоотдачи и теплопередачи". – Томск: Изд. ТПУ, 1994 – 47 с.

Программное обеспечение и *Internet*-ресурсы:

http://www.gaudeamus.omskcity.com/PDF_library_natural-science_8.html

<http://techlibrary.ru/>

<http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-4/index.htm>

<http://www.k204.ru/uchebniki.htm>

<http://tgv.khstu.ru/lib/learn/>

<http://ihtik.lib.ru/>

<http://library.khstu.ru/>

<http://ingenerov.net/tehnichka/>

http://www.msuee.ru/html2/med_gird/3_4.html

<http://twm.mpei.ru/ochkov/WSPHB/>

http://www.energosoftware.info/new_knidi.html

http://www/fptl.ru/Chem%20block_spravo4nik.html

<http://www.enek.ru/books.htm#vvsp>

\\

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническим обеспечением являются лекционная аудитория (47 ауд. – 4 к.), оборудованная современными техническими средствами

предъявления информации (компьютер, проектор), компьютерный класс (48 ауд. – 4 к.) для выполнения практических работ, а также лаборатория по термодинамике (27 ауд. – 4 к.), оснащенная современным оборудованием.

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по направлению ООП **140100 Теплоэнергетика и теплотехника** и профилю подготовки: **Тепловые электрические станции. Промышленная теплоэнергетика, Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике.**

Программа одобрена на заседании кафедры Теоретической и промышленной теплотехники

(протокол № _____ от «___» _____ 20___ г.).

Автор _____ Борисов Б.В.

Рецензенты: _____ Логинов В.С.

_____ Медведев Г.Г.