

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 16.09.2023 11:30:17
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9ef0521a5672742735c18b1d6

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ

**Декан факультета
химической технологии и биотехнологии**
/ С.В. Белуков /
« 31 августа » 2020 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Тепломассообмен

Направление подготовки

16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

Профиль «Холодильная техника и технологии»

Квалификация (степень) выпускника

Бакалавр

Форма обучения

Очная

Москва 2020

1. Цели и задачи освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Тепломассообмен» относятся:

- формирование знаний о современных методах расчета процессов переноса теплоты применительно к холодильной, криогенной технике и системам жизнеобеспечения;
- подготовка студента к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра по направлению;
- освоение основных законов массопереноса, особенностей их применения, а также самостоятельного, обоснованного и аргументированного выбора методов решения прикладных задач;

К **основным задачам** освоения дисциплины «Тепломассообмен» относятся:

- ознакомление с основными физико-химическими закономерностями и методами расчета процессов теплообмена.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата:

Дисциплина «Тепломассообмен» входит в блок обязательных дисциплин вариативной части образовательной программы бакалавриата.

Дисциплина «Тепломассообмен» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- Высшая математика.
- Физика.
- Математические методы моделирования физических процессов.
- Тепломассообменные аппараты низкотемпературной техники.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

| Код компетенции | В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине |
|-----------------|---|--|
| ПК–2 | Готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - виды передачи теплоты; - основные законы теплообмена; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - экспериментально и математически определять коэффициенты теплопроводности, теплоотдачи и теплопередачи; - рассчитывать параметры теплообменных процессов; - анализировать эффективность процессов теплообмена <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками определения физических свойств веществ; - методами математического и компьютерного моделирования процессов теплообмена |

4. Структура и содержание дисциплины.

На втором курсе в 4 семестре выделяется 3 зачетные единицы, т.е. академических часов 108 (из них 54 часа – самостоятельная работа студентов)

Лекции –36 часов, семинары 10 часов, лабораторные работы 8 часов форма контроля – экзамен.

4.1. Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Классификация процессов переноса теплоты в пространстве. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Теплоотдача. Теплопередача. Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи. Термические сопротивления. Основное уравнение теплопередачи. Изменение температуры теплоносителей при движении вдоль поверхности теплообмена. Средний температурный напор. .

Раздел 2. Теплопроводность при стационарном режиме. Основные физические представления. Температурное поле. Градиент температуры. Закон Фурье. Основное дифференциальное уравнение теплопроводности (уравнение Фурье). Краевые условия. Распределение температуры в одно- и многослойных плоских и цилиндрических стенках при граничных условиях 1-го рода. Теплопередача через одно- и многослойные плоские и цилиндрические стенки. Линейная плотность теплового потока. Ложная изоляция. Интенсификация теплопередачи.

Раздел 3. Нестационарная теплопроводность . Решение методом разделения переменных (методом Фурье) нестационарной задачи - теплопроводность в плоской однослойной пластине при граничных условиях III рода. Запись решения в обобщенном виде. Критерии Фурье и Био. Анализ решения. задач теплопроводности. .

Раздел 4. Конвективный теплообмен. Механизм переноса теплоты и количества движения в движущейся среде.

Молекулярный и молярный механизмы переноса. Простейшая модель турбулентного потока по Прандтлю.. Критерий Рейнольдса. Основные уравнения: энергии (Фурье-Кирхгофа), движения (Навье-Стокса), неразрывности (сплошности). Виды конвективного теплообмена. Закон Ньютона –Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Критерии кинематического и теплового подобия.

Раздел 5. . Механизм взаимодействия между жидкостью и поверхностью твердого тела. Основы теории пограничного слоя.

Понятие о динамическом и тепловом пограничных слоях. Представление о структуре турбулентного пограничного слоя. Ламинарный динамический пограничный слой на пластине.

Раздел 6. Теплоотдача при вынужденном движении.

Гидродинамическая стабилизация. Профиль скорости. Критерий Фруда. Число Эйлера. Тепловая стабилизация. Критерии Пекле и Прандтля. Число Нуссельта. Структура обобщенного уравнения.

Теплоотдача при продольном омывании плоской поверхности вынужденным потоком жидкости или газа. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах и каналах. Теплоотдача при поперечном обтекании одиночных труб и пучков труб.

Раздел 7. Теплоотдача при свободном движении.

Механизмы процесса. Формы движения в большом объеме. Критерии Галилея, Архимеда, Грасгофа. Структура обобщенного уравнения теплообмена. Конвективный теплообмен в ограниченных пространствах.

Раздел 8. Теплообмен излучением. Основные законы: Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Планка, Вина, Ламберта. Лучистый теплообмен между двумя параллельными пластинами. Влияние экранов на лучистый теплообмен. Особенности излучения газов.

Раздел 9. Теплоотдача при конденсации пара. Капельная и плёночная конденсация. Конденсация пара на вертикальной поверхности и вертикальных трубах. Структура обобщенных уравнений.

Раздел 10. Теплоотдача при кипении. Кипение в большом объеме. Структура обобщенного уравнения. Кривые кипения. Кипение в трубах. Особенности процесса. Кризисы кипения. Зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости течения и плотности теплового потока.

Раздел 11. Массообмен. Основные закономерности тепломассообмена. Причины возникновения и виды диффузии. Диффузионное число Нуссельта и диффузионное число Прандтля. Критериальные уравнения массообмена.

Раздел 12. Тепломассообменные аппараты. Классификация тепломассообменных аппаратов. Схемы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах. Определение среднего температурного напора. Принцип расчета рекуперативных теплообменных аппаратов.

5. Образовательные технологии.

Проведение лекционных и практических занятий по дисциплине «Тепломассообмен» целесообразно осуществлять с использованием следующих современных образовательных технологий:

- подготовка к выполнению лабораторных работ в лабораториях вуза;
- индивидуальное обсуждение и защита, выполняемых этапов курсового проекта;
- организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме бланкового тестирования;
- проведение контрольных работ;

Проведение лекционных занятий целесообразно осуществлять с использованием слайдов, подготовленных преподавателем в программе Microsoft Power Point.

Для подготовки к практическим занятиям, посвященным ознакомлению с работой теплообменного аппарата и выполнения курсовой работы рекомендуется использовать помещения для самостоятельной работы обучающихся - компьютерные классы с установленной на компьютеры программой «Расчет и оптимизация теплообменного аппарата» и возможностью выхода в Интернет.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

6.1. Фонды оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Фонды оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Тепломассообмен» приведены в Приложении 2 к рабочей программе.

6.2. Шкала оценивания текущей и промежуточной аттестации по дисциплине для целей формирования оценки академической успеваемости

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю). Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо» или «отлично».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Тепломассообмен» (выполнили контрольные работы и курсовую работу.)

| Шкала оценивания | Описание |
|-------------------------|---|
| Отлично | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. |
| Хорошо | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Удовлетворительно | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, при этом допускаются незначительные ошибки, проявляется отсутствие некоторых знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает некоторые затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации. |
| Неудовлетворительно | Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации. |

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) Основная литература

1. Шаров, Ю. И. Термодинамика и теплопередача : учебник / Ю. И. Шаров. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 311 с. — ISBN 978-5-7782-4024-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152148> (дата обращения: 14.09.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература

2. Примеры и задачи по тепломассообмену [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.С. Логинов [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 256 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93718>. — Загл. с экрана.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Кафедра ТиНПП обладает материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов лекционных, практических и лабораторных занятий, предусмотренных учебным планом по данной и другим дисциплинам.

Компьютерный класс факультета обеспечивает выполнение всех видов программ и выход в интернет.

Библиотечный фонд обеспечивает студентов необходимыми источниками, перечисленными выше.

Материально-техническая база Московского Политеха соответствует действующим санитарным и противопожарным нормам и правилам.

9. Методические рекомендации преподавателю

Данный раздел настоящей рабочей программы предназначен для начинающих преподавателей и специалистов-практиков, не имеющих опыта преподавательской работы.

Дисциплина «Тепломассообмен» является обязательной дисциплиной базовой части учебного плана и обеспечивает завершение формирования компетентности в тесной связи с важнейшими дисциплинами базовой и вариативной частей учебного плана.

В условиях конструирования образовательных систем на принципах компетентного подхода произошло концептуальное изменение роли преподавателя, который наряду с традиционной ролью носителя знания выполняет функцию организатора научно-поисковой работы студента, консультанта в процедурах выбора, обработки и интерпретации информации, необходимой для практического действия и дальнейшего развития, что должно обязательно учитываться при проведении лекционных и практических занятий по дисциплине «Тепломассообмен»

Преподавание теоретического (лекционного) материала по дисциплине «Тепломассообмен» осуществляется по последовательно-параллельной схеме на основе междисциплинарной интеграции и четких междисциплинарных связей в рамках ОП и рабочего учебного плана по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения».

Структура и последовательность проведения лекционных и практических занятий по дисциплине представлена в приложении 1 к настоящей рабочей программе. Проведение практических занятий ориентировано на использование заданий для практических занятий по дисциплине «Тепломассообмен».

Подробное содержание отдельных разделов дисциплины «Тепломассообмен» рассматривается в п.4 рабочей программы.

Целесообразные к применению в рамках дисциплины «Тепломассообмен» образовательные технологии изложены в п.5 настоящей рабочей программы.

Примерные варианты заданий для промежуточного/ итогового контроля и перечень вопросов к экзамену по дисциплине представлены в составе ФОС по дисциплине в Приложении 2 к рабочей программе.

Перечень основной и дополнительной литературы и нормативных документов, необходимых в ходе преподавания дисциплины «Тепломассообмен», приведен в п.7 настоящей рабочей программы. Преподавателю следует ориентировать студентов на использование современной учебной и справочной литературы при подготовке к промежуточной и итоговой аттестации и разработке курсового проекта по дисциплине.

10. Методические указания обучающимся

Методические указания по освоению дисциплины

Лекционные занятия проводятся в соответствии с содержанием настоящей рабочей программы и представляют собой изложение сведений об основных закономерностях тепломассообмена.

Посещение лекционных занятий является обязательным.

Регулярное повторение материала конспектов лекций по каждому разделу в рамках подготовки к промежуточным и итоговым формам аттестации по дисциплине «Тепломассообмен» является одним из важнейших видов самостоятельной работы студента в течение, необходимой для качественной подготовки к промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине.

В ходе лекций обучающимся рекомендуется:

- вести конспектирование учебного материала. Допускается конспектирование лекционного материала письменным и компьютерным способом.

- обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению;

- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью правильного понимания теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых во внеаудиторное время можно сделать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений.

Для успешного овладения курсом необходимо посещать все лекции, так как тематический материал взаимосвязан между собой.

Практическое занятие – это активная форма учебного процесса в вузе. При подготовке к практическим занятиям обучающемуся необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, учесть рекомендации преподавателя. Практические задания выполняются обучающимися в аудиториях и самостоятельно. Практическое задание оценивается по критериям, представленным в Приложении 2 к рабочей программе.

Проведение практических занятий по дисциплине «Тепломассообмен» осуществляется в формах, описанных в пункте 5 настоящей рабочей программы.

Посещение практических занятий и активное участие в них является обязательным.

Подготовка к практическим занятиям обязательно включает в себя изучение конспектов лекционного материала для адекватного понимания условия и способа решения заданий, запланированных преподавателем на конкретное практическое занятие.

Методические указания по выполнению различных форм внеаудиторной самостоятельной работы

Важной частью самостоятельной работы является чтение учебной и научной литературы. Основная функция учебников - ориентировать обучающегося в системе знаний, умений и навыков, которые должны быть усвоены по данной дисциплине будущими выпускниками.

Список основной и дополнительной литературы и обязательных к изучению нормативно-правовых документов по дисциплине «Тепломассообмен» приведен в п.7 настоящей рабочей программы. Следует отдавать предпочтение современным литературным источникам по соответствующим разделам дисциплины «Тепломассообмен».

Изучение основной и дополнительной, а также справочной литературы по дисциплине проводится на регулярной основе в разрезе каждого раздела, в соответствии с приведенными в п.6 рабочей программы рекомендациями для подготовки к промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине «Тепломассообмен».

Регулярное повторение материала конспектов лекций по каждому разделу в рамках подготовки к текущим и итоговым формам контроля по дисциплине «Тепломассообмен» является одним из важнейших видов самостоятельной работы обучающегося в течение семестра (см. соответствующие положения пункта 5.7 настоящей рабочей программы), необходимой для качественной подготовки к итоговой аттестации по дисциплине.

Контрольные работы. В соответствии с учебным планом в процессе изучения дисциплины обучающиеся выполняют 2 контрольные работы по заданиям, приведенным в Приложении 2 к рабочей программе.

Целью выполнения контрольных работ является формирование у обучающихся системы умений и навыков при расчете передачи теплоты.

Задачами выполнения контрольной работы являются:

- изучить особенности расчета передачи тепла теплопроводностью в стационарном режиме при граничных условиях первого рода для плоской и цилиндрической стенки;
- изучить особенности расчета передачи тепла теплопроводностью в стационарном режиме при граничных условиях третьего рода для плоской и цилиндрической стенки;
- изучить особенности расчета передачи тепла теплопроводностью в нестационарном режиме для пластины и цилиндра;
- изучить особенности расчета передачи тепла в условиях вынужденной конвекции;
- изучить особенности расчета передачи тепла в условиях свободной конвекции;
- изучить особенности расчета передачи тепла излучением;
- изучить особенности расчета передачи тепла при конденсации и кипении;

Выполнение контрольных работ является обязательным условием для допуска обучающегося к экзамену. Контрольная работа оценивается по критериям, представленным в Приложении 2 к рабочей программе.

Курсовая работа. Выполняется на тему «Расчет и оптимизация теплообменного аппарата».

Выбор варианта, порядок выполнения и оформления курсовой работы

Согласно учебному плану каждый студент специальности «Холодильная и криогенная техника» должен выполнить курсовую работу по данной дисциплине. Вариант задания, отличающийся значениями исходных данных, берётся в соответствии с учебным шифром студента из приведенной в Приложении 2 таблицы.

Курсовая работа выполняется под руководством преподавателя, прежде всего, осуществляющего лекционные и практические занятия. Руководитель проводит необходимые консультации и контролирует выполнение учебного графика.

Курсовая работа должна быть напечатана на компьютерном принтере через 1,5 интервала на стандартных листах бумаги формата А4. На каждой странице должны быть предусмотрены поля: левое 25 мм, верхнее 20 мм, правое 10 мм. В порядке исключения в случае недоступности печатной техники курсовая работа может быть представлена в виде рукописи, выполненной чётким почерком. Страницы должны быть пронумерованы, причём страницы титульного листа и содержания не указываются. Сокращения слов, кроме общепринятых и профессиональных аббревиатур, не допустимы. Объём работы не должен превышать 15 – 20 стр.

Принципиальные положения в тексте работы должны подтверждаться ссылками на литературные источники, перечисленные в порядке упоминания в отдельном списке.

Оформление курсовой работы:

- титульный лист по общепринятой форме;
- содержание;
- текст задания и исходных данных по шифру;
- краткое описание схемы установки;
- эскиз теплообменного аппарата);
- формулировка задач и расчётной методики;
- список подразумеваемых исходных данных и их идентификаторов в формулах;
- список балансных уравнений для определения зависимых неизвестных системы, предваряемый кратким поясняющим текстом;
- краткий анализ результатов и инженерные выводы;
- список рекомендуемой литературы.

График выполнения контрольных мероприятий

Курсовая работа: выдача 6-я неделя; прием 18-я неделя.

Контрольные работы: 6-я и 18-я недели.

Лабораторные работы:

1. Определение коэффициента теплопроводности.
2. Исследование теплообмена при пузырьковом кипении жидкости.
3. Определение коэффициента теплопередачи при движении жидкости в трубе.

Задания на самостоятельную работу

При изучении курса учащийся должен самостоятельно проработать следующие разделы:

1. Динамическое уравнение движения (уравнения Навье-Стокса), его физический смысл.
2. Уравнение сплошности (неразрывности движения), его физический смысл.
1. Уравнение энергии - уравнение Фурье-Кирхгофа.
2. Метод обобщенных переменных.
3. Теплообмен излучением между параллельными пластинами, разделенными прозрачной средой. Роль экранов;

4. Приближенный метод расчета лучистого теплообмена между газом и ограждающей поверхностью.
5. Причины возникновения и виды диффузии. Диффузионное число Нуссельта и диффузионное число Прандтля.
6. Критериальные уравнения массообмена.

Структура и содержание дисциплины «Тепломассообмен»

Направление подготовки 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

| Раздел | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость в часах | | | | | Виды самостоятельной работы студентов | | | | | Формы аттестации | |
|--|---------|-----------------|--|-----|------|-----|-----|---------------------------------------|----|-----|------|-----|------------------|---|
| | | | Л | П/С | Лаб. | СРС | КСР | КР | КП | РГР | Реф. | К/Р | Э | З |
| 1. Классификация процессов переноса теплоты в пространстве. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Теплоотдача. Теплопередача. Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи. Термические сопротивления. Основное уравнение теплопередачи. Изменение температуры теплоносителей при движении вдоль поверхности теплообмена. Средний температурный напор. | 4 | 1 | 2 | | | 2 | | | | | | | | |
| 2. Теплопроводность при стационарном режиме. Основные физические представления. Температурное поле. Градиент температуры. Закон Фурье. Основное дифференциальное уравнение теплопроводности (уравнение Фурье). Краевые условия. Распределение температуры в одно- и многослойных плоских и цилиндрических стенках при граничных условиях 1-го рода. Теплопередача через одно- и многослойные плоские и цилиндрические стенки. Линейная плотность теплового потока. | 4 | 2 3 | 4 | 4 | 2 | 8 | | | | | | + | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---------|---|---|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Ложная изоляция. Интенсификация теплопередачи. | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Нестационарная теплопроводность. Решение методом разделения переменных (методом Фурье) нестационарной задачи - теплопроводность в плоской однослойной пластине при граничных условиях III рода. Запись решения в обобщенном виде. Критерии Фурье и Био. Анализ решения задач теплопроводности. | 4 | 4 5 | 4 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| 4. Конвективный теплообмен. Механизмы переноса теплоты в движущейся среде. Молекулярный и молярный механизмы переноса. Простейшая модель турбулентного потока по Прандтлю.. Критерий Рейнольдса. Основные уравнения: энергии (Фурье-Кирхгофа), движения (Навье-Стокса), неразрывности (сплошности). Виды конвективного теплообмена. Закон Ньютона -Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. . | 4 | 6 7 | 4 | 1 | | 8 | | | | | | | | |
| 5. Механизм взаимодействия между жидкостью и поверхностью твердого тела. Основы теории пограничного слоя. Понятие о динамическом и тепловом пограничных слоях. Представление о структуре турбулентного пограничного слоя. Ламинарный динамический пограничный слой на пластине. | 4 | 8 | 2 | 1 | | 2 | | | | | | | | |
| 6. Теплоотдача при вынужденном движении. Гидродинамическая стабилизация. Профиль скорости. Критерий Фруда. Число Эйлера. Тепловая | 4 | 9 10 | 4 | | | 8 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| стабилизация. Критерии Пекле и Прандтля. Число Нуссельта. Структура обобщенного уравнения . Теплообмен при продольном омывании плоской поверхности вынужденным потоком жидкости или газа. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах и каналах. Теплоотдача при поперечном обтекании одиночных труб и пучков труб. | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. Теплоотдача при свободном движении. Механизмы процесса. Формы движения в большом объеме. Критерии Галилея, Архимеда, Грасгофа. Структура обобщенного уравнения теплообмена. Конвективный теплообмен в ограниченных пространствах. | | 11 | 2 | 2 | | 4 | | | | | | | | |
| 8. Теплообмен излучением. Основные законы: Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Планка, Вина, Ламберта. Лучистый теплообмен между двумя параллельными пластинами. Влияние экранов на лучистый теплообмен. Особенности излучения газов. | 4 | 12 13 | 4 | 1 | | 4 | | | | | | | | |
| 9. Теплоотдача при конденсации пара. Капельная и плёночная конденсация. Конденсация пара на вертикальной поверхности и вертикальных трубах. Структура обобщенных уравнений. | | 14 | 2 | 1 | | 6 | | | | | | | | |
| 10. Теплоотдача при кипении. Кипение в большом объеме. Структура обобщенного уравнения. Кривые кипения. Кипение в трубах. Особенности процесса. Кризисы кипения. Зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости течения и | | 15 16 | 4 | 2 | 2 | 6 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----|----|----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| плотности теплового потока. | | | | | | | | | | | | | | |
| 11. Массообмен. Основные закономерности теплообмена. Причины возникновения и виды диффузии. Диффузионное число Нуссельта и диффузионное число Прандтля. Критериальные уравнения массообмена. | | 17 | 2 | 2 | | 6 | | | | | | | | |
| 12. Теплообменные аппараты. Классификация теплообменных аппаратов. Схемы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах. Определение среднего температурного напора. Принцип расчета рекуперативных теплообменных аппаратов. | | 18 | 2 | | 2 | 6 | | + | | | | + | | |
| Итого | 4 | | 36 | 10 | 8 | 54 | - | 1 | - | - | - | 2 | + | - |

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕ-
ЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: **16.03.03. – «Холодильная, криогенная техника и
системы жизнеобеспечения»**

Форма обучения: очная

Виды профессиональной деятельности:

расчетно-экспериментальная деятельность с элементами научно-
исследовательской;
проектно-конструкторская

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Тепломассообмен

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины. Формы контроля формирования компетенций

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

| Компетенция | Код по ФГОС | Форма контроля | Этапы формирования (разделы дисциплины) |
|-------------|---|---|---|
| ПК-2 | Готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. | Промежуточный контроль: экзамен Текущий контроль: опрос на практических занятиях; контрольная работа; | 1-12 |

В процессе освоения образовательной программы данная компетенция, в том числе её отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

2. Показатели и критерии оценивания компетенций при изучении дисциплины, описание шкал оценивания

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

2.1 Критерии оценки ответа на экзамене (формирование компетенции ПК-2)

«5» (отлично): обучающийся демонстрирует системные теоретические знания, владеет терминами, делает аргументированные выводы и обобщения, приводит примеры, показывает способность быстро реагировать на уточняющие вопросы.

Обучающийся:

на высоком уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«4» (хорошо): обучающийся демонстрирует прочные теоретические знания, владеет терминами, делает аргументированные выводы и обобщения, приводит примеры, но при этом делает несущественные ошибки, которые быстро исправляет самостоятельно или при незначительной коррекции преподавателем.

Обучающийся:

хорошо владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«3» (удовлетворительно): обучающийся демонстрирует неглубокие теоретические знания, проявляет слабо сформированные навыки анализа явлений и процессов, недостаточное

умение делать аргументированные выводы и приводить примеры, показывает не достаточно свободное владение монологической речью, терминами, логичностью и последовательностью изложения, делает ошибки, которые может исправить только при коррекции преподавателем.

Обучающийся:

на удовлетворительном уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«2» (неудовлетворительно): обучающийся демонстрирует незнание теоретических основ предмета, не умеет делать аргументированные выводы и приводить примеры, показывает слабое владение монологической речью, не владеет терминами, проявляет отсутствие логичности и последовательности изложения, делает ошибки, которые не может исправить даже при коррекции преподавателем, отказывается отвечать на дополнительные вопросы.

Обучающийся:

не владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

2.2 Критерии оценки работы обучающегося на практических занятиях (формирование компетенции ПК-2)

«5» (отлично): выполнены все практические задания, предусмотренные практическими занятиями, обучающийся четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы, активно работал на практических занятиях.

Обучающийся:

на высоком уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, расчетные методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«4» (хорошо): выполнены все практические задания, предусмотренные практическими занятиями, обучающийся с корректирующими замечаниями преподавателя ответил на все контрольные вопросы, достаточно активно работал на практических занятиях.

Обучающийся:

хорошо владеет готовностью применять физико-математический аппарат, расчетные методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«3» (удовлетворительно): выполнены все практические задания, предусмотренные практическими занятиями с замечаниями преподавателя; обучающийся ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

Обучающийся:

на удовлетворительном уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, расчетные методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«2» (неудовлетворительно): обучающийся не выполнил или выполнил неправильно практические задания, предусмотренные практическими занятиями; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Обучающийся:

не владеет готовностью применять физико-математический аппарат, расчетные методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

2.3 Критерии оценки контрольной работы (формирование компетенции ПК-2)

«5» (отлично): все задания контрольной работы выполнены без ошибок в течение отведенного на работу времени; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы.

Обучающийся:

на высоком уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«4» (хорошо): задания контрольной работы выполнены с незначительными замечаниями в полном объеме либо отсутствует решение одного задания; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы; отсутствуют грубые орфографические и пунктуационные ошибки.

Обучающийся:

хорошо владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы в процессе профессиональной деятельности (ПК-2);

«3» (удовлетворительно): задания контрольной работы имеют значительные замечания; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения; присутствуют грубые орфографические и пунктуационные ошибки.

Обучающийся:

на удовлетворительном уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«2» (неудовлетворительно): задания в контрольной работе выполнены не полностью или неправильно; отсутствуют или сделаны неправильно выводы и обобщения; присутствуют грубые орфографические и пунктуационные ошибки.

Обучающийся:

не владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

2.5. Критерии оценки защиты курсового проекта (формирование компетенции ПК-2)

«5» (отлично): выполнены все задания курсового проекта; проект выполнен в срок; оформление, структура и стиль проекта соответствуют предъявляемым требованиям к текстовым документам и чертежам; проект выполнен самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы; правильные ответы на все вопросы при защите проекта.

Обучающийся:

на высоком уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методики исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«4» (хорошо): выполнены все задания курсового проекта с незначительными замечаниями; проект выполнен в срок; в оформлении, структуре и стиле пояснительной записки и чертежей нет грубых ошибок; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы; правильные ответы на все вопросы с помощью преподавателя при защите работы.

Обучающийся:

хорошо владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«3» (удовлетворительно): задания курсового проекта имеют значительные замечания; работа выполнена с нарушениями графика, в оформлении, структуре и стиле работы есть недостатки; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения; ответы не на все вопросы при защите работы.

Обучающийся:

на удовлетворительном уровне владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

«2» (неудовлетворительно): задания курсового проекта выполнены не полностью или выполнены неправильно; отсутствуют или сделаны неправильно выводы и обобщения; оформление проекта не соответствует предъявляемым требованиям; нет ответов на вопросы преподавателя при защите работы.

Обучающийся:

не владеет готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. (ПК-2);

2.6. Итоговые показатели балльной оценки сформированности компетенций по дисциплине в разрезе дескрипторов «знать/ уметь/ владеть»:

| ПК-2 готовность применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Показатель | Критерии оценивания | | | |
| | 2 | 3 | 4 | 5 |
| знать: виды передачи теплоты, основные законы теплопередачи и их практическое применение | Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: видов передачи теплоты, основных законов теплопередачи и их практического применения | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: видов передачи теплоты, основных законов теплопередачи и их практического применения. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации. | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: видов передачи теплоты, основных законов теплопередачи и их практического применения, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях. | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: видов передачи теплоты, основных законов теплопередачи и их практического применения, свободно оперирует приобретенными знаниями. |
| уметь: экспериментально и математически | Обучающийся не умеет или владеет недостаточной | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующим | Обучающийся демонстрирует полное соответствие |

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| <p>матически определять коэффициенты теплопроводности, теплоотдачи и теплопередачи; рассчитывать параметры теплообменных процессов; анализировать эффективность процессов теплообмена</p> | <p>степени умеет экспериментально и математически определять коэффициенты теплопроводности, теплоотдачи и теплопередачи; рассчитывать параметры теплообменных процессов; анализировать эффективность процессов теплообмена</p> | <p>умений: экспериментально и математически определять коэффициенты теплопроводности, теплоотдачи и теплопередачи; рассчитывать параметры теплообменных процессов; анализировать эффективность процессов теплообмена. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.</p> | <p>щих умений: экспериментально и математически определять коэффициенты теплопроводности, теплоотдачи и теплопередачи; рассчитывать параметры теплообменных процессов; анализировать эффективность процессов теплообмена. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.</p> | <p>следующих умений: экспериментально и математически определять коэффициенты теплопроводности, теплоотдачи и теплопередачи; рассчитывать параметры теплообменных процессов; анализировать эффективность процессов теплообмена. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.</p> |
| <p>владеть: Навыками определения физических свойств веществ; методами математического и компьютерного моделирования процессов теплообмена</p> | <p>Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет навыками определения физических свойств веществ; методами математического и компьютерного моделирования процессов теплообмена</p> | <p>Обучающийся владеет навыками определения физических свойств веществ; методами математического и компьютерного моделирования процессов теплообмена в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.</p> | <p>Обучающийся частично владеет навыками определения физических свойств веществ; методами математического и компьютерного моделирования процессов теплообмена, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.</p> | <p>Обучающийся в полном объеме владеет навыками определения физических свойств веществ; методами математического и компьютерного моделирования процессов теплообмена, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.</p> |

3. Методические материалы (типовые контрольные задания), определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Контрольные задания, применяемые в рамках текущего и промежуточного контроля по дисциплине, носят универсальный характер и предусматривают возможность комплексной оценки всего набора компетенций, предусмотренных ОП по дисциплине.

3.1. Текущий контроль (работа на практических занятиях) (формирование компетенции ПК-2)

Тематика практических заданий для текущего контроля по дисциплине изложена в Приложении 1 к рабочей программе.

3.2. Текущий контроль (выполнение контрольных работ) (формирование компетенции ПК-2)

Темы контрольных работ:

7. Стационарная и нестационарная теплопроводность
8. Конвективный теплообмен. Вынужденная и естественная конвекция.

Варианты контрольных работ:

Контрольная работа №1

Задачи на стационарную теплопроводность

Задание 1.

1. Печь изнутри выложена шамотным кирпичом, за которым следует слой красного кирпича толщиной 200 мм, а снаружи слой асбеста толщиной 50 мм. На внутренней поверхности печи температура 1200 °С, на наружной 30 °С.

Какова должна быть толщина слоя шамотного кирпича, чтобы температура красного кирпича не превышала 850 °С? Найти температуру на внутренней поверхности асбеста.

Задание 2.

1. Определить плотность теплового потока и температуру на поверхностях стенки парового котла, если заданы температура дымовых газов 1100 °С, температура кипящей воды 220 °С и коэффициенты теплоотдачи $\alpha_1=110 \text{ ВТ/м}^2\text{К}$, $\alpha_2=3000 \text{ ВТ/м}^2\text{К}$. Стенки выполнены из углеродистой стали 30 толщиной 50 мм и футерована диносовым кирпичом толщиной 150 мм.

Задание 3.

1. Определить плотность теплового потока и температуру на поверхностях стенки парового котла, если заданы температура дымовых газов 1200 °С, температура кипящей воды 180 °С и коэффициенты теплоотдачи $\alpha_1=150 \text{ ВТ/м}^2\text{К}$, $\alpha_2=2500 \text{ ВТ/м}^2\text{К}$. Стенки выполнены из стали ЭИ69 толщиной 50 мм и футерована шамотным кирпичом толщиной 250 мм.

Задание 4.

1. Обмуровка парового котла толщиной 300 мм выполнена из шамотного кирпича. С одной стороны она омывается топочным газом с температурой 750 °С, а с другой воз-

духом с температурой 25 °С. Коэффициенты теплоотдачи соответственно равны $\alpha_1=30$ Вт/м²К, $\alpha_2=20$ Вт/м²К. Найти тепловые потери через стенку.

Как изменяются тепловые потери, если стенку котла покрыть слоем штукатурки ($\lambda=0,135+0,00029t$) толщиной 8 мм?

Задание 5.

1. Обмуровка парового котла толщиной 2500 мм выполнена из диатомитового кирпича. С одной стороны она омывается топочным газом с температурой 980 °С, а с другой воздухом с температурой 30 °С. Коэффициенты теплоотдачи соответственно равны $\alpha_1=40$ Вт/м²К, $\alpha_2=22$ Вт/м²К. Найти тепловые потери через стенку.

Как изменяются тепловые потери, если на котел наложить слой изоляции из асбестового картона толщиной 10 мм?

Задание 6

1. Паропровод (ст. ЭИ107) диаметром 170х5 мм покрыт слоем тепловой изоляции толщиной 100 мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,062(1+0,000363t)$ Вт/м К.

Определить тепловые потери паропровода, если температура внутренней поверхности трубы 300°С, а температура внешней поверхности изоляции 50°С? Длина трубы 15 м.

Задание 7.

1. Железобетонная дымовая труба внутренним диаметром 800 мм и наружным диаметром 1300 мм должна быть футерована внутри шамотным кирпичом. Определить толщину футеровки и температуру наружной поверхности трубы t_{c3} из условий, чтобы тепловые потери с 1 м трубы не превышали 2000 Вт/м, а температура наружной поверхности железобетонной стенки t_{c3} не превышала 60 °С. Температура внутренней поверхности футеровки $t_{c1}=425$ °С, коэффициент теплопроводности бетона $\lambda_2=1,1$ Вт/м К.

Задание 8.

1. Вычислить потерю теплоты с 1 м трубопровода диаметром 165х7,5 мм, проложенного на открытом воздухе, температура которого -15 °С, если внутри трубы протекает вода со средней температурой 90 °С. Материал трубы – сталь ЭИ 107. Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы $\alpha_1=10000$ Вт/м²К, и от трубы к окружающему воздуху $\alpha_2=12$ Вт/м²К.

Решить задачу при условии, что паропровод покрыт слоем изоляции толщиной 60 мм и коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,15$ Вт/м К. Объяснить изменение тепловых потерь.

Задание 9.

1. Обмуровка печи состоит из слоев шамотного и силикатного кирпича (на холодном растворе), между которыми расположен слой распушенного асбеста

3 сорта. Толщина шамотного слоя 120 мм, асбеста 50 мм и силикатного кирпича 250 мм. Температуры на внешних поверхностях стенки равны соответственно 950 °С и 30 °С.

Какой толщины следует сделать слой силикатного кирпича, если оказаться от асбестовой прокладки, чтобы тепловые потери через стенку остались неизменными?

Решить задачу, учитывая зависимость λ от температуры.

Задание 10.

3. Обмуровка печи состоит из слоев пеношамота и красного кирпича машинной формовки, между которыми расположен слой асбозурита. Толщина пеношамота 120 мм, асбозурита 50 мм и красного кирпича 250 мм. Температуры на внешних поверхностях стенки равны соответственно

1100 °С и 40 °С.

Какой толщины следует сделать слой красного кирпича, если оказаться от асбестовой прокладки, чтобы тепловые потери через стенку остались неизменными?

Задание 11

1. Вычислить потерю теплоты с 1 м трубопровода диаметром 210x5 мм, выполненного из сухого бетона, покрытого слоем изоляции из шлаковой ваты толщиной 50 мм.

Температура внутренней поверхности трубопровода $t_1=180$ °С/

Температура наружной поверхности изоляции $t_2=50$ °С. Определить температуру на границы стенки и изоляции.

Задание 12.

1. Обмуровка печи состоит из слоев шамотного и красного кирпича, между которыми расположена засыпка из диатомитовой крошки. Толщина шамотного слоя 120 мм, диатомитовой засыпки 50 мм и красного кирпича 250 мм.

Какой толщины следует сделать слой красного кирпича, если отказаться от засыпки из диатомита, чтобы тепловой поток через стенку остался неизменным?

Температуры на поверхности стенки соответственно равны 840 °С и 50 °С.

Задачи на нестационарную теплопроводность:

Задание 1. Определить время, необходимое для нагрева стального листа толщиной 20 мм, который имел температуру 25°С, а затем был помещен в печь с температурой 500°С. Нагрев заканчивается после того, как температура на поверхности листа достигнет 400°С.

Принять $\lambda=50$ Вт/м К, $\rho=7600$ кг/м³, $\alpha=200$ Вт/м² К, $C=0,52$ кДж/кг К

Задание 2. Стальной цилиндр диаметром 30 мм был нагрет в печи до температуры 600°С, после чего охлаждается на воздухе, температура которого 25°С. Определить температуру на оси и поверхности цилиндра через 30 мин после начала охлаждения.

Принять $\lambda=45$ Вт/м К, $\rho=7300$ кг/м³, $\alpha=55$ Вт/м² К, $C=0,53$ кДж/кг К

Задание 3. Стальной цилиндр диаметром 40 мм был нагрет в печи до температуры 500°С, после чего охлаждается в воде, температура которой 10°С. Определить температуру на оси и поверхности цилиндра через 5 мин после начала охлаждения.

Принять $\lambda=40$ Вт/м К, $\rho=7600$ кг/м³, $\alpha=290$ Вт/м² К, $C=0,5$ кДж/кг К

Задание 4. Определить время, необходимое для нагрева цилиндра толщиной 50 мм, который имел температуру 50°С, а затем был помещен в печь с температурой 800°С. Нагрев заканчивается после того, как температура на оси цилиндра достигнет 400°С.

Принять $\lambda=10$ Вт/м К, $\rho=6800$ кг/м³, $\alpha=180$ Вт/м² К, $C=0,26$ кДж/кг К

Задание 5. 5 Определить время, необходимое для нагрева цилиндра толщиной 42 мм, который имел температуру 40°С, а затем был помещен в печь с температурой 750°С. Нагрев заканчивается после того, как температура на поверхности цилиндра достигнет 600°С.

Принять $\lambda=20$ Вт/м К, $\rho=7200$ кг/м³, $\alpha=220$ Вт/м² К, $C=0,36$ кДж/кг К

Задание 6. Стальная пластина толщиной 45 мм была нагрета до температуры 450°С, после чего охлаждается на воздухе с температурой 15°С. Определить температуру в центре и на поверхности пластины через 45 мин после начала охлаждения.

Принять $\lambda=48$ Вт/м К, $\rho=7500$ кг/м³, $\alpha=35$ Вт/м² К, $C=0,52$ кДж/кг К

Задание 7. Стальной лист толщиной 20 мм был нагрет до температуры 650°C, после чего охлаждается на воздухе с температурой 25°C. Определить температуру в центре и на поверхности листа через 25 мин после начала охлаждения.

Принять $\lambda=47$ Вт/м К, $\rho=7400$ кг/м³, $\alpha=28$ Вт/м² К, $C=0,53$ кДж/кг К

Задание 8. Определить время, необходимое для нагрева цилиндра толщиной 50 мм, который имел температуру 50°C, а затем был помещен в печь с температурой 800°C. Нагрев заканчивается после того, как температура на оси цилиндра достигнет 400°C.

Принять $\lambda=10$ Вт/м К, $\rho=6800$ кг/м³, $\alpha=180$ Вт/м² К, $C=0,26$ кДж/кг К

Контрольная работа №2

Задание 1. В теплообменном устройстве охлаждающая вода должна отводить тепловой поток 465 Вт. Вода движется по прямой круглой трубе с внутренним диаметром 100 мм. Расход воды 40 т/час, а ее температура на входе в трубу 75°C.

Определить температуру воды на выходе из трубы, коэффициент теплоотдачи к воде и длину трубы, если средняя температура ее внутренней поверхности 95°C.

Задание 2. По стальному трубопроводу диаметром 100х3 мм протекает вода, средняя температура которой 120°C, со скоростью 8 м/с. Снаружи трубопровод обдувается поперечным потоком воздуха, температура которого 20°C, а скорость 12 м/с.

Определить плотность теплового потока, передаваемого от воды к воздуху, если температура стенки 110°C.

Задание 3. В межтрубном пространстве кожухотрубного теплообменника охлаждается воздух от 400 до 200°C. Воздух движется вдоль труб теплообменника, его расход 2500кг/час. Диаметр труб 35х2,5 мм, число труб 61, диаметр кожуха 400 мм. Определить коэффициент теплоотдачи от воздуха к трубам теплообменника.

Задание 4. Неизолированный стальной трубопровод (сталь 30) диаметром 225х12,5 мм проложен горизонтально подводой. Температура окружающей его воды 20°C. Внутри трубопровода движется масло МС-20, средняя температура которого 110°C, со скоростью 5 м/с. Температуру стенки трубопровода принять равной 100°C.

Определить тепловые потери трубопровода

Задание 5. Коридорный пучок стальных труб диаметром 60х4 мм омывается поперечным потоком воздуха. Температура воздуха на входе в пучок 360°C, а на выходе из него 280°C. Скорость воздуха 5 м/с. Продольный шаг $S_1 = 40$ мм, поперечный $S_2 = 25$ мм. Внутри труб со скоростью 1 м/с движется вода, температура которой на входе 50°C, а на выходе 90°C. Определить тепловой поток от воздуха к воде, если средняя температура поверхности труб 75°C, а длина труб 12 м.

Задание 6. По горизонтальной трубе диаметром 20х1 мм протекает вода с температурой 85 °С на входе. Средняя температура стенки 15 °С. Расход воды 0,5 кг/с. На выходе из трубы вода должна иметь температуру 25 °С. Какую длину трубы следует взять для этого?

Задание 7. Рассчитать тепловые потери от вертикальной трубы длиной 3,2 м и наружным диаметром 62 мм. Температура на поверхности трубы 80 °С, температура окружающего воздуха 20 °С.

Задание 8. По стальной трубе диаметром 44x2 мм со скоростью 0,7 м/с течет масло МС-20, температура которого 60 °С. Снаружи труба охлаждается поперечным потоком воздуха с температурой 15 °С. Скорость воздуха 10 м/с.

Определить линейную плотность теплового потока. Температуру стенки трубы со стороны масла принять равной 45 °С.

Задание 9. По стальному паропроводу (сталь ЭИ69) движется насыщенный водяной пар с температурой 350 °С. Скорость пара 5 м/с. Снаружи паропровод охлаждается свободным потоком воздуха, температура которого 30 °С. Диаметр паропровода 100 мм, длина 3 м. Температуру стенки принять равной 330 °С.

Определить тепловой поток от пара к воздуху.

Задание 10. Теплообменник типа «труба в трубе» длиной 6 м выполнен из стальных труб диаметром 48x3 мм и 30x2,5 мм. Холодный теплоноситель – вода движется по внутренней трубе и нагревается от 5 до 35 °С. Расход воды 100 кг/ч.

Горячий теплоноситель со средней температурой 140 °С движется по межтрубному пространству. Коэффициент теплоотдачи от него к поверхности внутренней трубы 93 Вт/м²*К.

Определить:

- 1) температуру поверхности со стороны воды;
- 2) обеспечит ли поверхность теплообменника передачу заданной плотности теплового потока?

Задание 11. В межтрубном пространстве теплообменника типа «труба в трубе» протекает вода, температура которой изменяется от 20 до 80 °С. Расход воды 5000 кг/час. Диаметры труб: внешней 68x2 мм, внутренней – 50x1 мм. По внутренней трубе противотоком движется трансформаторное масло со скоростью 2,8 м/с. Температура масла изменяется от 140 до 60 °С.

Определить длину теплообменника.

Задание 12. Шахматный пучок стальных труб диаметром 40x2 мм омывается поперечным потоком воздуха. Температура воздуха на входе в пучок 320 °С, а на выходе из него 230 °С. Скорость воздуха 6,2 м/с. Продольный шаг $S_1 = 70$ мм, поперечный $S_2 = 25$ мм. Внутри труб со скоростью 2 м/с движется вода, температура которой на входе 20 °С, а на выходе 90 °С.

Определить тепловой поток от воздуха к воде, если средняя температура поверхности труб 75 °С, а длина труб 10 м.

Задание 13. Вертикальная стальная плоская стенка, температура которой 100 °С, омывается свободным потоком воздуха. Высота стенки 1 м, ширина – 0,6 м. Температура воздуха 20 °С.

Определить тепловой поток, отдаваемый стенкой воздуху.

Задание 14. Плоская пластина длиной 5 м омывается водой со скоростью 3 м/с. Температура воды 25 °С, температура пластины со стороны воды 90 °С.

Определить: средний коэффициент теплоотдачи от пластины к воде;

Задание на курсовую работу (Формирование компетенции ПК-2)

Задание для расчета. Определить требуемую площадь поверхности теплообмена F кожухотрубного теплообменника и суммарную мощность на прокачивание теплоносителей по его каналам для охлаждения горячего теплоносителя с массовым расходом M_1 от температуры t_1 на входе в теплообменный аппарат до температуры t_2 на выходе из него. Температура холодного теплоносителя (воды) на входе t_2 и выходе – t_2 . Горячий теплоноситель движется внутри n труб с внутренним диаметром d_1 14 мм. Толщина стенки трубок, выполненных из нержавеющей стали мар-

ки 1X18H10T - 1мм. Вода обтекает трубы теплообменного аппарата продольно, двигаясь в межтрубном канале, образованном наружными поверхностями труб и кожухом с внутренним диаметром D. Длина секции теплообменного аппарата L = 2м.

Таблица №1

| | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 101-132 | 201-232 | 301-332 | 401-432 | 501-532 | 601-632 | 701-732 | 801-832 |
| Расход горячего теплоносителя M_1 , кг/с | 1.5 | 2.1 | 4.2 | 6 | 12 | 21 | 30 | 51 |
| Внутренний диаметр кожуха D, м | 0.06 | 0.08 | 0.10 | 0.12 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 |
| Число труб n, шт | 4 | 7 | 12 | 19 | 37 | 64 | 109 | 151 |

Таблица 2

| № | Горячий теплоноситель | t_1' °C | t_1'' °C | t_2' °C | t_2'' °C | № Варианта* | Схема движения теплоносителей |
|----|-----------------------|-----------|------------|-----------|------------|-------------|-------------------------------|
| 01 | Этанол | 160 | 100 | 20 | 80 | 01 | Прямоток |
| 02 | Этанол | 160 | 100 | 40 | 80 | 02 | Прямоток |
| 03 | Этанол | 150 | 120 | 40 | 100 | 03 | Прямоток |
| 04 | Этанол | 140 | 80 | 30 | 90 | 04 | Противоток |
| 05 | Этанол | 150 | 90 | 20 | 100 | 05 | Противоток |
| 06 | Этанол | 140 | 100 | 40 | 100 | 06 | Противоток |
| 07 | Этанол | 120 | 80 | 30 | 90 | 07 | Противоток |
| 08 | Этанол | 150 | 100 | 20 | 90 | 08 | Противоток |
| 09 | Бензол | 160 | 100 | 20 | 80 | 09 | Прямоток |
| 10 | Бензол | 160 | 100 | 40 | 80 | 10 | Прямоток |
| 11 | Бензол | 150 | 120 | 40 | 100 | 11 | Прямоток |
| 12 | Бензол | 140 | 80 | 30 | 90 | 12 | Противоток |
| 13 | Бензол | 150 | 90 | 20 | 100 | 13 | Противоток |
| 14 | Бензол | 140 | 100 | 40 | 100 | 14 | Противоток |
| 15 | Бензол | 120 | 80 | 30 | 90 | 15 | Противоток |
| 16 | Бензол | 150 | 100 | 20 | 90 | 16 | Противоток |
| 17 | Ацетон | 160 | 100 | 20 | 80 | 17 | Прямоток |
| 18 | Ацетон | 160 | 100 | 40 | 80 | 18 | Прямоток |
| 19 | Ацетон | 150 | 120 | 40 | 100 | 19 | Прямоток |
| 20 | Ацетон | 140 | 80 | 30 | 90 | 20 | Противоток |
| 21 | Ацетон | 150 | 90 | 20 | 100 | 21 | Противоток |
| 22 | Ацетон | 140 | 100 | 40 | 100 | 22 | Противоток |
| 23 | Ацетон | 120 | 80 | 30 | 90 | 23 | Противоток |
| 24 | Ацетон | 150 | 100 | 20 | 90 | 24 | Противоток |
| 25 | Метанол | 160 | 100 | 20 | 80 | 25 | Прямоток |
| 26 | Метанол | 160 | 100 | 40 | 80 | 26 | Прямоток |
| 27 | Метанол | 150 | 120 | 40 | 100 | 27 | Прямоток |
| 28 | Метанол | 140 | 80 | 30 | 90 | 28 | Противоток |
| 29 | Метанол | 150 | 90 | 20 | 100 | 29 | Противоток |
| 30 | Метанол | 140 | 100 | 40 | 100 | 30 | Противоток |
| 31 | Метанол | 120 | 80 | 30 | 90 | 31 | Противоток |
| 32 | Метанол | 150 | 100 | 20 | 90 | 32 | Противоток |
| 33 | Масло МС-20 | 160 | 100 | 80 | 90 | 33 | Прямоток |
| 34 | Масло МС-20 | 160 | 80 | 60 | 70 | 34 | Прямоток |
| 35 | Масло МС-20 | 150 | 90 | 70 | 80 | 35 | Прямоток |

Контрольные вопросы

1. Виды переноса теплоты. Температурное поле и температурный градиент.
2. Теплопроводность. Гипотеза Фурье. Коэффициент теплопроводности. Термическое сопротивление теплопроводности. Плотность теплового потока. Тепловой поток.
3. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Уравнение Фурье. Уравнение Лапласа.
4. Условия однозначности. Граничные условия.
5. Передача теплоты через плоскую стенку при граничных условиях I- рода.
6. Определение плотности теплового потока через многослойную плоскую стенку. Теплопроводность через плоскую стенку при граничных условиях III-рода. Коэффициент теплопередачи.
7. Определение температуры на поверхностях стенки.
8. Теплопроводность через цилиндрическую стенку при граничных условиях I-рода. Линейная плотность теплового потока для однослойной и многослойной цилиндрических стенок.
9. Теплопроводность через цилиндрическую стенку при граничных условиях III-го рода. Линейный коэффициент теплопередачи. Линейная плотность теплового потока.
10. Конвективный теплообмен. Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи, его физический смысл. Виды конвективного теплообмена.
11. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.
12. Критерии подобия конвективного теплообмена и их физический смысл.
13. Обобщенные уравнения теплоотдачи.
14. Динамический пограничный слой.
15. Тепловой пограничный слой.
16. Обобщенные уравнения при обтекании пластины потоком жидкости.
17. Теплообмен при вынужденном течении жидкости в трубах. Обобщенные уравнения.
18. Теплообмен при поперечном обтекании труб. Обобщенные уравнения.
19. Теплообмен при поперечном обтекании пучка труб. Обобщенные уравнения.
20. Теплообмен при свободной конвекции. Обобщенные уравнения.
21. Свободная конвекция в ограниченном объеме.
22. Теплообмен излучением.
23. Теплообмен при конденсации.
24. Теплообмен при кипении в трубах.
25. Теплообмен при кипении в большом объеме.
26. Основные закономерности тепломассообмена.