

Направление подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
Магистерская программа «Энергообеспечение предприятий.
Тепломассообменные процессы и установки»
РПБ Б1.В.ОД.1 «Оптимизация тепломассообменных установок»



Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора филиала
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
в г. Смоленске по учебно-
методической работе
В.В. Рожков
« 26 » 05 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ УСТАНОВОК

Направление подготовки: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Магистерская программа: Энергообеспечение предприятий. Тепломассообменные процессы и установки

Уровень высшего образования: магистратура

Нормативный срок обучения: 2 года 3 мес.

Форма обучения: заочная

Смоленск - 2017 г.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Целью освоения дисциплины является подготовка обучающихся к расчетно-проектной и проектно-конструкторской деятельности в области эксплуатации и оптимизации тепломассообменных установок по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Задачами дисциплины является изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, привитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач моделирования и расчета процессов, проектирования и оптимизации тепломассообменных устройств.

Дисциплина направлена на формирование следующей профессиональной компетенции:

- ПК-1 – способностью формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать:

- физику процессов ректификации, абсорбции, выпаривания, сушки, т.е. процессов тепломассообмена при наличии границ раздела фаз;
- конструкцию различных тепломассообменных аппаратов;
- основные уравнения и модели проектирования;
- методы расчета и выбора оптимальных вариантов конструкции тепломассообменных установок (ПК-1);
- особенности работы и эксплуатации тепломассообменных установок и систем теплоснабжения (ПК-1);

уметь:

- самостоятельно решать конкретные задачи проектирования, оптимизации различных типов ТМУ на базе современных математических моделей и вычислительных средств (ПК-1);

владеть:

- системой научных знаний в области моделирования и оптимального проектирования;
- навыками расчета и моделирования оптимальных процессов и аппаратов (ПК-1);

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к вариативной части обязательных дисциплин блока Б1 образовательной программы подготовки магистров по магистерской программе «Энергообеспечение предприятий. Тепломассообменные процессы и установки» направления 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Данная дисциплина является начальной в образовательной траектории формирования компетенции ПК-1.

Знания, умения и навыки, полученные студентами в процессе изучения дисциплины, являются базовыми для изучения следующих дисциплин:

Б1.Б5 «Методы термoeкономического анализа сложных теплоэнергетических систем»

Б1.В.ОД.4 «Принципы эффективного управления технологическими процессами в теплоэнерге-

тике, теплотехнике и теплотехнологии»

Б2.П.1 «Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности».

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на конкретную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Аудиторная работа

Цикл	Б1	семестр
Часть цикла	вариативная	
№ дисциплины по плану	Б1.В.ОД.1	
Часов (всего) по учебному плану	216	1 курс
Трудоемкость в зачетных единицах (ЗЕТ)	6	
Лекции (ЗЕТ, час.)	0,17, 6	1 курс
Практические занятия (ЗЕТ, час.)	0,22 8	1 курс
Лабораторные работы (ЗЕТ, час.)		
Курсовое проектирование	0,11 4	1 курс
Объем самостоятельной работы по учебному плану (ЗЕТ, часов всего)	5,25 189	1 курс
Экзамен (ЗЕТ, час.)	0,25 9	1 курс

Самостоятельная работа студентов

Вид работ	Трудоемкость (ЗЕТ, час.)	
Изучение материалов лекций (лк)	0,33	12
Подготовка к практическим занятиям (пз)	0,56	20
Подготовка к лабораторной работе (лаб)		-
Выполнение расчетно-графической работы (реферата)		-
Выполнение курсового проекта (работы)	1,11	40
Самостоятельное изучение дополнительных материалов дисциплины (СРС)	3,25	117
Подготовка к контрольным работам		
Подготовка к тестированию		-
Подготовка к зачету		-
Всего	5,25	189

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических и астрономических часов и видов учебных занятий

№ п / п	Тема дисциплины	Всего часов на тему	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость					
			лк	пр	лаб	КП	СРС	в т.ч. ин- теракт
1.	Постановка задачи оптимизации теплообменного аппарата. Задачи оптимизации с ограничениями. Моделирование задач тепломассообмена (ТМО).	68	2	2	-	1	63	-
2.	Реализация математических моделей ТМО на ЭВМ. Ректификация. Абсорбция	70	2	4	-	1	63	-
3.	Выпарные установки. Сушка. Системы теплоснабжения	69	2	2	-	2	63	-
Всего 216 часов по всем видам учебных занятий (включая 9 часов на подготовку к экзамену)			6	8	-	4	189	-

Содержание курса по видам учебных занятий

Тема 1. Постановка задачи оптимизации.

Лекция. Постановка задачи оптимизации теплообменного аппарата. Основные зависимости математической модели теплообменника. Капитальная и эксплуатационная составляющие затрат. Формирование целевой функции. Ограничения. Функция Лагранжа для ограничений в виде равенств. Теорема Куна-Такера. Получение функций штрафов для внешней и внутренней задачи оптимизации. Моделирование задач тепломассообмена (ТМО). Основные уравнения ТМО. Законы сохранения количества движения, энергии, массы. Уравнения и линии равновесия в задачах со свободной границей. Моделирование фазовых равновесий. Направление массопередачи и движущая сила массообменных процессов. Способы переноса вещества в движущейся фазе. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Механизм процесса массопередачи. Уравнения массоотдачи. Коэффициенты массообмена. Зависимость между коэффициентами массопередачи и массоотдачи. Подобие массообменных процессов. Критерии подобия. Средняя движущая сила массопередачи. Общее число единиц переноса. Определение числа теоретических ступеней изменения концентрации (теоретических тарелок). Поток массы, энергии. (2 часа)

Практическое занятие 1. Постановка задачи оптимизации. Задача оптимальной толщины изоляции в ограждении зданий; 2. Задача выбора оптимального диаметра трубопровода для подачи заданного расхода воды. Решение задач по расчету теплообменного оборудования. Ознакомление с программным обеспечением по оптимизации; 2. Отладка программы оптимизации индивидуально для каждого метода; 3. Решение задач по расчету теплообменных аппаратов. Моделирование фазового равновесия, 2. Расчеты коэффициентов массообмена. 3. Расчеты элементов массообменных устройств. (2 часа)

Самостоятельная работа. Подготовка к практическому занятию. (63 часа)

Текущий контроль – устный опрос при проведении практических занятий.

Тема 2. Реализация математических моделей ТМО на ЭВМ. Ректификация. Абсорбция

Лекция. Реализация математических моделей ТМО на ЭВМ. Моделирование процессов в теплообменном аппарате типа труба в трубе. Основные допущения и упрощения. Математическая модель теплообмена и гидродинамики теплообменника. Алгоритм расчета. Программная реализация. Математическая модель массообмена в насадочной ректификационной колонне. Алгоритм расчета и программная реализация. Ректификация. Материальный баланс ректификационной колонны. Уравнения рабочих линий ректификации. Выбор рабочего флегмового числа. Абсорбция. Равновесие при абсорбции. Материальный баланс и расход абсорбента. Схема абсорбционной установки непрерывного действия. Конструкции абсорбционных аппаратов. (2 часа)

Практическое занятие 2. Моделирование массообменных процессов в элементах массообменных устройств; Расчеты числа тарелок в укрепляющей и исчерпывающей частях колонных аппаратов; Алгоритмизация задач ТМО для конкретных устройств согласно индивидуальному заданию; Решение задач по практикуму. Изучение алгоритмов и программ расчета ректификации, скруббера. Изучение алгоритмов и программ расчета сушилки. Выбор минимального флегмового числа. Выбор оптимальных конструктивных параметров ректификационной колонны. Изучение методики расчета абсорбционных установок. Решение задач практикума. (4 часа)

Самостоятельная работа. Подготовка к практическому занятию (изучение теоретического материала по теме, выполнение домашнего задания – решение задач) (63 часа).

Текущий контроль – устный опрос при проведении практических занятий.

Тема 3. Выпарные установки. Сушка. Системы теплоснабжения

Лекция. Выпарные установки. Перегонка жидкостей. Равновесие в системах жидкость-пар. Простая перегонка. Перегонка с водяным паром. Молекулярная дистилляция. Многоступенчатые испарители. Выбор оптимального температурного напора. Сушка. Общие сведения. Связь влаги с материалом. Контактная сушка. Конвективная сушка. Основные свойства влажного воздуха. Диаграмма состояния влажного атмосферного воздуха. Материальный баланс воздушной конвективной сушилки. Тепловой баланс воздушной конвективной сушилки. Изображение основных вариантов конвективной сушки на диаграмме $I - x$ для теоретической сушилки. Изображение реального процесса сушки (нормальный вариант) на диаграмме $I - x$. Точка росы. Температура мокрого термометра. Движущая сила процесса сушки. Равновесная влажность. Скорость сушки. Продолжительность сушки. Константа скорости сушки. Конструкции сушилок. Системы теплоснабжения. Тепловой баланс помещений. Расчет потребления теплоты на отопление, вентиляцию, кондиционирование малых предприятий и офисов. Отопительные приборы. Расчет числа отопительных приборов для малых предприятий. Водяное отопление. Тепловой пункт и элементы системы водяного отопления. Оптимальные системы отопления. (2 часа)

Практическое занятие 3. Изучение алгоритмов расчета процесса выпаривания, дисциплины. 2. Изучение методики расчета испарительных установок. Изучение алгоритмов расчета систем теплоснабжения. 2. Изучение методики расчета систем теплоснабжения 3. Решение задач практикума. (92 часа)

Самостоятельная работа. Подготовка к лекции и практическим занятиям (изучение теоретического материала по теме) (63 часа).

Текущий контроль. Устный опрос у доски. Тестирование.

Промежуточная аттестация по дисциплине: экзамен.

Изучение дисциплины на 1-м курсе заканчивается экзаменом. Экзамен проводится в соответствии с Положением о зачетной и экзаменационной сессиях в НИУ МЭИ и инструктивным письмом от 14.05.2012г. № И-23.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Для обеспечения самостоятельной работы подобраны электронные версии:

методические указания по самостоятельной работе при подготовке к практическим занятиям, выполнению курсовой (см. Приложение 1);

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования

При освоении дисциплины формируются следующие компетенции: ПК-1 – способность формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов;

Указанные компетенции формируются в соответствии со следующими этапами:

1. Формирование и развитие теоретических знаний, предусмотренные указанными компетенциями (лекционные занятия, самостоятельная работа студентов).
2. Приобретение и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями (практические занятия, выполнение курсовой работы, самостоятельная работа студентов).
3. Закрепление теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями, в ходе решения конкретных технических задач на практических занятиях, при выполнении курсовой работы, успешной сдачи экзамена.

6.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Сформированность компетенции в рамках освоения данной дисциплины оценивается по трехурневой шкале:

- пороговый уровень является обязательным для всех обучающихся по завершении освоения дисциплины;
- продвинутый уровень характеризуется превышением минимальных характеристик сформированности компетенции по завершении освоения дисциплины;
- эталонный уровень характеризуется максимально возможной выраженностью компетенции и является важным качественным ориентиром для самосовершенствования.

При достаточном качестве освоения более 80% приведенных знаний, умений и навыков преподаватель оценивает освоение данной компетенции в рамках настоящей дисциплины на эталонном уровне, при освоении более 60% приведенных знаний, умений и навыков – на продвинутом, при освоении более 40% приведенных знаний, умений и навыков – на пороговом уровне. В противном случае компетенция в рамках настоящей дисциплины считается неосвоенной.

Уровень сформированности каждой компетенции на различных этапах ее формирования в процессе освоения данной дисциплины оценивается в ходе текущего контроля успеваемости и представ-

лен различными видами оценочных средств.

Для оценки сформированности в рамках данной дисциплины компетенций ПК-1 – «способность формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов» преподавателем оценивается содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студентов по практическим занятиям, курсовым работам. Учитываются также ответы студента на вопросы по соответствующим видам занятий при текущем контроле – устных опросах на практических занятиях, при выполнении курсовой работы, ответах на практических занятиях.

Принимается во внимание **знания** обучающимися:

- тепло и массообменных процессов, физических явлений, фундаментальных понятий, единицы измерения величин, рассматриваемых в дисциплине, место теоретических и практических знаний в профессиональной деятельности

Наличие **умения**:

- решать типовые задачи по разделам дисциплины, применять полученные знания и уметь выделять конкретное физическое содержание в прикладных задачах профессиональной деятельности, обобщать, анализировать и воспринимать полученную информацию, ставить цели и выбирать пути их достижения.

Присутствие **навыков**: умение владеть современной научными подходами к моделированию, навыками ведения процесса проектирования, основными методами постановки, исследования и решения задач тепломассообмена.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенций в процессе выполнения курсовой работы и защиты курсовой работы, в результате выполнения заданий на практических занятиях.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенций ПК-1 – «способность формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов»

в процессе проведения практических занятий и защиты курсовой работы, как формы текущего контроля.

На защите выполненных заданий по практическим занятиям задается пять вопросов из примерного перечня по темам:

Постановка задачи оптимизации для теплообменного аппарата

1. В чем состоят цели и задачи курса «Оптимизация тепломассообменных установок»?
2. В чем состоит постановка задачи оптимизации?
3. Как выбирается критерий оптимизации?
4. Как формируется целевая функция?
5. Дайте краткую характеристику модели теплообменного аппарата?
6. Какой вид имеет капитальная составляющая затрат для теплообменника?
7. Какой вид имеет эксплуатационная составляющая затрат для теплообменника?
8. Как рассчитывается теплопередача между теплоносителями в теплообменнике?
9. Какие ограничения накладываются на оптимизируемые переменные?

Задачи оптимизации с ограничениями

1. Как записывается функция Лагранжа для задачи оптимизации с ограничениями в виде равенств?
2. Поставьте задачу оптимального распределения нагрузки между параллельно работающими агрегатами.

3. Как записывается функция Лагранжа для задачи оптимизации с ограничениями в виде неравенств?
4. Теорема Куна – Такера.
5. Как записывается функция Лагранжа для задачи оптимизации с ограничениями в виде неравенств с учетом теоремы Куна – Такера?
6. Что такое внешняя штрафная функция?
7. Что такое внутренняя штрафная функция?
8. Как получить внешнюю обратную штрафную функцию?
9. Как получить внешнюю логарифмическую штрафную функцию?
10. Как получить внутреннюю функцию «квадратичной срезки»?
11. Как получить внутреннюю функцию «бесконечного барьера»?
12. Запишите функцию штрафа для «квадратичной срезки»?
13. Поясните структуру программы оптимизации с ограничениями. В какой части программы учитывается штраф?

Моделирование задач тепломассообмена. Реализация математических моделей ТМО на ЭВМ.

1. Дайте классификацию основных процессов тепломассообмена.
2. Запишите законы сохранения количества движения, энергии, массы.
3. Как и для чего составляется уравнения баланса массы и энергии?
4. Выразите в общем виде условия теплового, механического и химического равновесия.
5. Что является потенциалом переноса субстанции? Напишите законы, описывающие молекулярный перенос субстанций, и объясните причину сходства этих законов.
6. Напишите основное уравнение переноса массы, энергии и импульса. Укажите ограничения его применения.
7. Напишите уравнение неразрывности с использованием субстанциональной производной.
8. Приведите уравнения, описывающие поле температур в движущейся жидкости. Как будет выглядеть уравнение для жидкости, находящейся в покое?
9. Напишите уравнения, характеризующие перенос вещества.
10. Объясните, в чем сущность единого кинетического закона?
11. Что такое лимитирующая стадия процесса и каковы общие принципы интенсификации процессов?
12. В чем заключается принцип моделирования химико-технологических процессов?
13. Перечислите этапы математического моделирования.
14. Укажите сходство и различие основных способов моделирования – физического и математического моделирования.
15. Как преобразовывают дифференциальные уравнения, описывающие тот или иной процесс, методами теории подобия? Приведите обобщенные (критериальные) уравнения.
16. Какова задача оптимизации тепломассообменных процессов?
17. Поставьте задачу оптимизации работы ректификационной колонны. Что будет являться критерием оптимальности? Какие при этом будут оптимизирующие факторы и ограничения?
18. Перечислите этапы оптимизации ТМО процессов.
19. В чем проявляется влияние гидродинамической структуры потоков на ТМО процессы?

Абсорбция

1. Раскройте принципы процессов абсорбции и десорбции. Для решения каких практических задач применяют эти процессы?
2. Сформулируйте закон Генри. Для каких систем применим этот закон?
3. Как составляется материальный баланс абсорбции? Раскройте понятие рабочей линии процессов абсорбции и десорбции.
4. Как составляется тепловой баланс процесса абсорбции? Как влияет изменение температуры в системе на положение линии равновесия?
5. Что называют минимальным и оптимальным удельными расходами абсорбента? Как влияет изменение удельного расхода абсорбента на расход абсорбента и объем абсорбера?
6. Покажите особенности кинетики процессов абсорбции и хемосорбции.
7. Перечислите основные требования к абсорбционным аппаратам. Дайте их классификацию.
8. Раскройте принцип действия пленочных абсорберов. В каких случаях применение этих аппаратов наиболее рационально?
9. Сопоставьте характеристики работы противоточных и прямоточных пленочных абсорберов.
10. Раскройте принцип действия насадочных колонн.
11. Почему насадку по высоте аппарата обычно располагают секциями?
12. Охарактеризуйте методы улучшения смачивания насадки.
13. В чем особенности гидродинамических режимов работы насадочных колонн?
14. Почему в подавляющем большинстве случаев насадочные абсорберы работают в пленочном режиме?
15. Какие требования предъявляются к насадке? 16. На чем основан выбор насадки для проведения конкретного процесса абсорбции.
17. Какие виды насадки можно использовать для обработки загрязненных сред?
18. В каких случаях целесообразно использование схем установок с рециркуляцией абсорбента?
19. Сопоставьте поверхность насадки со смоченной и активной поверхностями и,
20. Сопоставьте противоточные и прямоточные схемы работы насадочных абсорберов. Почему насадочные абсорберы практически всегда работают при противоточном движении фаз?
21. В чем особенности гидродинамических режимов работы тарельчатых абсорберов? 22. Какой режим является оптимальным для проведения процесса абсорбции?
23. Чем объясняется гидродинамическая неравномерность по длине тарелок с переточными устройствами?
24. В чем особенности гидродинамических условий работы колонн с провальными тарелками⁷
25. Сравните характеристики работы провальных тарелок разных конструкций.
26. Проведите сравнение колонн с тарелками со сливными устройствами и с провальными тарелками.
27. Сопоставьте характеристики колонн с тарелками со сливными устройствами, работающими: 1) по принципу перекрестного тока и 2) по принципу однонаправленного движения фаз. В каких случаях применение тарелок второго типа предпочтительнее?
28. Дайте сравнительную характеристику распыливающих абсорберов. В каких случаях абсорберы этого типа имеют преимущества перед другими?
29. Какие показатели являются основными при выборе конструкции абсорбера для проведения конкретного процесса абсорбции?
30. Каков порядок расчета абсорберов?

31. Как влияет брызгоунос на эффективность тарельчатых колонн? Перечислите методы проведения регенерации абсорбента. Расскажите о составлении материального баланса и построении рабочей линии процесса десорбции на диаграмме Y-X.
32. Приведите примеры схем установок с однократным и многократным использованием абсорбента.

Дисциплина, перегонка, ректификация

1. Что понимается под простой перегонкой жидкостей? Назовите виды простой перегонки.
2. Покажите схему процесса перегонки с дефлегмацией, раскройте ее преимущества по сравнению с простой перегонкой.
3. Раскройте принцип составления материального баланса простой перегонки, определения количества кубового остатка, дистиллята и его состава при простой перегонке.
4. В чем сущность перегонки с водяным паром? Как ведут определение расхода пара на процесс?
5. В чем сущность молекулярной дистилляции? В каких случаях целесообразно ее применение?
6. Раскройте принцип ректификации. Изобразите схему ректификационной колонны и укажите на ней потоки жидкости и пара.
7. Сформулируйте законы Рауля и Дальтона. Для решения каких задач применяют эти законы при анализе и расчете процесса ректификации?
8. Какие задачи решают с помощью этих законов при анализе процессов перегонки жидкостей?
9. Изобразите схему установки непрерывной ректификации бинарной смеси.
10. Изобразите варианты установок для непрерывного разделения трехкомпонентной смеси.
11. Какие аппараты применяют для проведения процессов ректификации? Каковы их отличия от абсорберов? Как располагают в ректификационных установках дефлегматоры и кипятильники?
12. Какие допущения принимают при анализе работы ректификационной колонны графоаналитическим методом?
13. Составьте материальный баланс ректификационной колонны для разделения бинарной смеси.
14. Выведите уравнения рабочих линий для верхней и нижней частей ректификационной колонны.
15. Как определяется минимальное и рабочее флегмовое число? Как влияет флегмовое число на высоту ректификационной колонны?
16. Постройте кривую равновесия и рабочие линии. Как с помощью такой диаграммы определить высоту ректификационной колонны?
17. Составьте тепловой баланс ректификационной колонны. Как определяется расход греющего пара для проведения процессов ректификации? Какие способы экономии расхода теплоты возможны в ректификационной установке?
18. Как определяется оптимальное флегмовое число?
19. Изобразите схему установки для проведения процесса периодической ректификации.
20. Как определяются высота и диаметр ректификационной колонны периодического действия?
21. Изобразите схемы установок для экстрактивной и азеотропной ректификации. В каких случаях целесообразно применение этих процессов?
22. В чем состоят особенности расчета многокомпонентной ректификации?

Сушка

1. В чем состоит сущность конвективной, контактной, радиационной, сублимационной и диэлектрической сушки? В каких случаях целесообразно применять тот или иной вид сушки?
2. В чем состоит различие между абсолютной и относительной

влажностью воздуха? Поясните понятие о влагосодержании и энтальпии влажного воздуха.

3. Перечислите и охарактеризуйте виды связи влаги с материалом.
4. Раскройте принципы построения диаграммы Н-х состояния влажного воздуха. Как определяются параметры влажного воздуха с помощью этой диаграммы?
5. В чем особенности материального баланса конвективной сушки?
6. Как определяют расход воздуха (общий и удельный) на сушку?
7. Дайте схему расчета тепловых балансов конвективной и контактной сушки. На чем основано определение удельного расхода теплоты и расхода греющего пара на конвективную сушку?
8. Как строится процесс теоретической и реальной сушки на диаграмме Н-х?
9. Поясните принципы построения кривых и их использования для расчета скорости и времени сушки.
10. Покажите способы выражения движущей силы процесса сушки.
11. На чем основано определение коэффициентов массоотдачи для условий внешней и внутренней диффузии?
12. Как определяются области, лимитирующие общий процесс массопереноса при сушке?
13. На чем основано определение поверхности тепло- и массообмена для первого и второго периодов сушки?
14. На чем основано определение размеров сушилок с псевдоожиженным слоем?
15. В чем особенности расчета сушилок с лимитирующим сопротивлением процессу внутренней фазы?
16. Опишите устройство, раскройте принцип действия камерных и туннельных сушилок. Дайте их сравнительную характеристику.
17. Опишите устройство, раскройте принцип действия барабанных сушилок. Перечислите области их применения. Опишите устройство различных внутренних насадок барабанных сушилок.
18. Опишите устройство, раскройте принцип действия ленточных и петлевых сушилок. Дайте их сравнительную характеристику.
19. Опишите устройство, раскройте принцип действия сушилок с псевдоожиженным слоем, распылительных и пневматических сушилок. Дайте их сравнительную характеристику.
20. Опишите устройство контактных сушилок.
21. Охарактеризуйте специальные виды сушки-радиационную, диэлектрическую, сублимационную. Перечислите области их применения.
22. Назовите методы интенсификации процессов сушки.

Полный ответ на три вопроса соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, полный ответ на четыре вопроса – продвинутому уровню, при полном ответе на пять вопросов – эталонному уровню.

Критерии оценивания уровня сформированности ПК-1 – «способность формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов» в процессе защиты курсовой работы, как формы текущего контроля.

В процессе защиты курсовой работы студенту задаются 3–4 вопроса из следующего примерного перечня:

1. Приведите классификацию процессов массопередачи со свободной границей раздела фаз.
2. Выведите основное уравнение массопередачи. Для чего оно применяется?
3. Выразите в общем виде условия равновесия массообменных процессов.
4. Сформулируйте правило фаз Гиббса.
5. Как с помощью равновесных и рабочих концентраций определить направление процесса массопереноса?
6. Приведите схему расчета материальных балансов массообменных процессов.
7. Охарактеризуйте механизмы продольного и поперечного переноса массы.
8. Сформулируйте первый закон Фика. От чего зависит коэффициент молекулярной диффузии, в чем его физический смысл?
9. В чем состоят основные различия в переносе вещества конвекцией и массопередачей?
10. Раскройте физический смысл коэффициента массоотдачи.
11. Охарактеризуйте подобие массообменных процессов. Запишите критериальное уравнение массоотдачи. Раскройте физический смысл критериев подобия массообменных процессов.
12. Охарактеризуйте основные модели массопереноса.
13. Запишите уравнение массопередачи. Покажите связь и различие коэффициентов массопередачи и массоотдачи.
14. Выведите уравнение аддитивности фазовых сопротивлений.
15. Сформулируйте понятие движущей силы массообменных процессов.
16. Рассчитайте диаметр массообменных колонн.
17. Как определить высоту массообменного аппарата с помощью уравнения массопередачи?
18. Определите высоту массообменного аппарата с помощью числа и высоты единиц переноса.
19. Определите высоту массообменного аппарата с помощью теоретической ступени изменения концентрации.

Полный ответ на один вопрос соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, полный ответ на два вопроса – продвинутому уровню, при полном ответе на три вопроса – эталонному уровню.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенций: ПК-1 – способность формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов;

в результате выполнения заданий на практических занятиях.

Оценивается активность работы студентов на практических занятиях, глубина ответов студента «у доски» при устных опросах в процессе выполнения заданий к каждому занятию, выполнение домашних заданий, правильность ответов при блиц-опросах и тестировании.

Знание основных положений при оптимальном проектировании тепломассообменных установок соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования; в дополнение к пороговому самостоятельно решать типовые задачи соответствует продвинутому уровню; в дополнение к продвинутому уметь решать задачи повышенной сложности и владеть навыками моделирования, оптимального проектирования соответствует эталонному уровню.

Сформированность компетенции не ниже порогового является основанием для допуска обучающегося к промежуточной аттестации по данной дисциплине

Формой промежуточной аттестации по данной дисциплине является защита курсовой работы с оценкой (1-й семестр), оцениваемый по принятой в НИУ «МЭИ» четырехбалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Экзамен по дисциплине «Оптимизация тепломассообменных установок» проводится в устной форме.

Критерии оценивания (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года №И-23):

Оценки «отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изучаемой дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявивший творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практическое задание.

Оценки «хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание материала изучаемой дисциплины, успешно выполняющий предусмотренные задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнившему практические задания, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справившийся с выполнением заданий, знакомый с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившем погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практического задания, но обладающий необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившем другие практические задания из того же раздела дисциплины.

Оценки «неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившему практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине (формирования и развития компетенций, закрепленных за данной дисциплиной). Оценка «неудовлетворительно» выставляется также, если студент после начала экзамена отказался его сдавать или нарушил правила сдачи экзамена (списывал, подсказывал, обманом пытался получить более высокую оценку и т.д.).

В зачетную книжку студента и выписку к диплому выносятся оценки экзамена по дисциплине за 1-й курс.

6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционному материалу

дисциплины):

1-й курс

1. Постановка задачи оптимизации теплообменного аппарата. Основные зависимости математической модели теплообменника. Капитальная и эксплуатационная составляющие затрат. Формирование целевой функции. Ограничения.

2. Задачи оптимизации с ограничениями. Функция Лагранжа для ограничений в виде равенств. Ограничения в виде неравенств. Теорема Куна-Такера. Получение функций штрафов для внешней и внутренней задачи оптимизации.

3. Моделирование задач тепломассообмена (ТМО). Основные уравнения ТМО. Законы сохранения количества движения, энергии, массы. Уравнения и линии равновесия в задачах со свободной границей. Моделирование фазовых равновесий. Направление массопередачи и движущая сила массообменных процессов. Способы переноса вещества в движущейся фазе. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Механизм процесса массопередачи. Уравнения массоотдачи. Коэффициенты массообмена. Зависимость между коэффициентами массопередачи и массоотдачи. Подобие массообменных процессов. Критерии подобия. Средняя движущая сила массопередачи. Общее число единиц переноса. Определение числа теоретических ступеней изменения концентрации (теоретических тарелок). Поток массы, энергии.

4. Реализация математических моделей ТМО на ЭВМ. Моделирование процессов в теплообменном аппарате типа труба в трубе. Основные допущения и упрощения. Математическая модель теплообмена и гидродинамики теплообменника. Алгоритм расчета. Программная реализация. Математическая модель массообмена в насадочной ректификационной колонне. Алгоритм расчета и программная реализация.

5. Ректификация. Материальный баланс ректификационной колонны. Уравнения рабочих линий ректификации. Выбор рабочего флегмового числа.

6. Абсорбция. Равновесие при абсорбции. Материальный баланс и расход абсорбента. Схема абсорбционной установки непрерывного действия. Конструкции абсорбционных аппаратов.

7. Выпарные установки. Перегонка жидкостей. Равновесие в системах жидкость-пар. Простая перегонка. Перегонка с водяным паром. Молекулярная дистилляция.

8. Сушка. Общие сведения. Связь влаги с материалом. Контактная сушка. Конвективная сушка. Основные свойства влажного воздуха. Диаграмма состояния влажного атмосферного воздуха. Материальный баланс воздушной конвективной сушилки. Тепловой баланс воздушной конвективной сушилки. Изображение основных вариантов конвективной сушки на диаграмме $I - x$ для теоретической сушилки. Изображение реального процесса сушки (нормальный вариант) на диаграмме $I - x$. Точка росы. Температура мокрого термометра. Движущая сила процесса сушки. Равновесная влажность. Скорость сушки. Продолжительность сушки. Константа скорости сушки. Конструкции сушилок.

9. Системы теплоснабжения. Тепловой баланс помещений. Расчет потребления теплоты на отопление, вентиляцию, кондиционирование малых предприятий и офисов. Отопительные приборы. Расчет числа отопительных приборов для малых предприятий.

Водяное отопление. Тепловой пункт и элементы системы водяного отопления. Оптимальные системы отопления.

Вопросы по приобретению и развитию практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной

(примеры вопросов к практическим занятиям)

Постановка задачи оптимизации для теплообменного аппарата

1. В чем состоят цели и задачи курса «Оптимизация тепломассообменных установок»?
2. В чем состоит постановка задачи оптимизации?
3. Как выбирается критерий оптимизации?
4. Как формируется целевая функция?
5. Дайте краткую характеристику модели теплообменного аппарата?
6. Какой вид имеет капитальная составляющая затрат для теплообменника?
7. Какой вид имеет эксплуатационная составляющая затрат для теплообменника?
8. Как рассчитывается теплопередача между теплоносителями в теплообменнике?
9. Какие ограничения накладываются на оптимизируемые переменные?

Задачи оптимизации с ограничениями

1. Как записывается функция Лагранжа для задачи оптимизации с ограничениями в виде равенств?
2. Поставьте задачу оптимального распределения нагрузки между параллельно работающими агрегатами.
3. Как записывается функция Лагранжа для задачи оптимизации с ограничениями в виде неравенств?
4. Теорема Куна – Такера.
5. Как записывается функция Лагранжа для задачи оптимизации с ограничениями в виде неравенств с учетом теоремы Куна – Такера?
6. Что такое внешняя штрафная функция?
7. Что такое внутренняя штрафная функция?
8. Как получить внешнюю обратную штрафную функцию?
9. Как получить внешнюю логарифмическую штрафную функцию?
10. Как получить внутреннюю функцию «квадратичной срезки»?
11. Как получить внутреннюю функцию «бесконечного барьера»?
12. Запишите функцию штрафа для «квадратичной срезки»?
13. Поясните структуру программы оптимизации с ограничениями. В какой части программы учитывается штраф?

Моделирование задач тепломассообмена. Реализация математических моделей ТМО на ЭВМ.

1. Дайте классификацию основных процессов тепломассообмена.
2. Запишите законы сохранения количества движения, энергии, массы.
3. Как и для чего составляется уравнения баланса массы и энергии?
4. Выразите в общем виде условия теплового, механического и химического равновесия.
5. Что является потенциалом переноса субстанции? Напишите законы, описывающие молекулярный перенос субстанций, и объясните причину сходства этих законов.
6. Напишите основное уравнение переноса массы, энергии и импульса. Укажите ограничения его применения.
7. Напишите уравнение неразрывности с использованием субстанциональной производной.
8. Приведите уравнения, описывающие поле температур в движущейся жидкости. Как будет выглядеть уравнение для жидкости, находящейся в покое?
9. Напишите уравнения, характеризующие перенос вещества.
10. Объясните, в чем сущность единого кинетического закона?

11. Что такое лимитирующая стадия процесса и каковы общие принципы интенсификации процессов?
12. В чем заключается принцип моделирования химико-технологических процессов?
13. Перечислите этапы математического моделирования.
14. Укажите сходство и различие основных способов моделирования – физического и математического моделирования.
15. Как преобразовывают дифференциальные уравнения, описывающие тот или иной процесс, методами теории подобия? Приведите обобщенные (критериальные) уравнения.
16. Какова задача оптимизации тепломассообменных процессов?
17. Поставьте задачу оптимизации работы ректификационной колонны. Что будет являться критерием оптимальности? Какие при этом будут оптимизирующие факторы и ограничения?
18. Перечислите этапы оптимизации ТМО процессов.
19. В чем проявляется влияние гидродинамической структуры потоков на ТМО процессы?

Абсорбция

1. Раскройте принципы процессов абсорбции и десорбции. Для решения каких практических задач применяют эти процессы?
2. Сформулируйте закон Генри. Для каких систем применим этот закон?.
3. Как составляется материальный баланс абсорбции? Раскройте понятие рабочей линии процессов абсорбции и десорбции.
4. Как составляется тепловой баланс процесса абсорбции? Как влияет изменение температуры в системе на положение линии равновесия?
5. Что называют минимальным и оптимальным удельными расходами абсорбента? Как влияет изменение удельного расхода абсорбента на расход абсорбента и объем абсорбера?
6. Покажите особенности кинетики процессов абсорбции и хемосорбции.
7. Перечислите основные требования к абсорбционным аппаратам. Дайте их классификацию.
8. Раскройте принцип действия пленочных абсорберов. В каких случаях применение этих аппаратов наиболее рационально?
9. Сопоставьте характеристики работы противоточных и прямоточных пленочных абсорберов.
10. Раскройте принцип действия насадочных колонн.
11. Почему насадку по высоте аппарата обычно располагают секциями?
12. Охарактеризуйте методы улучшения смачивания насадки.
13. В чем особенности гидродинамических режимов работы насадочных колонн?
14. Почему в подавляющем большинстве случаев насадочные абсорберы работают в пленочном режиме?
15. Какие требования предъявляются к насадке? 16. На чем основан выбор насадки для проведения конкретного процесса абсорбции.
17. Какие виды насадки можно использовать для обработки загрязненных сред?
18. В каких случаях целесообразно использование схем установок с рециркуляцией абсорбента?
19. Сопоставьте поверхность насадки со смоченной и активной поверхностями и,
20. Сопоставьте противоточные и прямоточные схемы работы насадочных абсорберов. Почему насадочные абсорберы практически всегда работают при противоточном движении фаз?

21. В чем особенности гидродинамических режимов работы тарельчатых абсорберов? 22. Какой режим является оптимальным для проведения процесса абсорбции?
23. Чем объясняется гидродинамическая неравномерность по длине тарелок с переточными устройствами?
24. В чем особенности гидродинамических условий работы колонн с прональными тарелками⁷
25. Сравните характеристики работы прональных тарелок разных конструкций.
26. Проведите сравнение колонн с тарелками со сливными устройствами и с прональными тарелками.
27. Сопоставьте характеристики колонн с тарелками со сливными устройствами, работающими: 1) по принципу перекрестного тока и 2) по принципу однонаправленного движения фаз. В каких случаях применение тарелок второго типа предпочтительнее?
28. Дайте сравнительную характеристику распыливающих абсорберов. В каких случаях абсорберы этого типа имеют преимущества перед другими?
29. Какие показатели являются основными при выборе конструкции абсорбера для проведения конкретного процесса абсорбции?
30. Каков порядок расчета абсорберов?
31. Как влияет брызгоунос на эффективность тарельчатых колонн? Перечислите методы проведения регенерации абсорбента. Расскажите о составлении материального баланса и построении рабочей линии процесса десорбции на диаграмме Y-X.
32. Приведите примеры схем установок с однократным и многократным использованием абсорбента.

Дисциплина, перегонка, ректификация

1. Что понимается под простой перегонкой жидкостей? Назовите виды простой перегонки.
2. Покажите схему процесса перегонки с дефлегмацией, раскройте ее преимущества по сравнению с простой перегонкой.
3. Раскройте принцип составления материального баланса простой перегонки, определения количества кубового остатка, дистиллята и его состава при простой перегонке.
4. В чем сущность перегонки с водяным паром? Как ведут определение расхода пара на процесс?
5. В чем сущность молекулярной дистилляции? В каких случаях целесообразно ее применение?
6. Раскройте принцип ректификации. Изобразите схему ректификационной колонны и укажите на ней потоки жидкости и пара.
7. Сформулируйте законы Рауля и Дальтона. Для решения каких задач применяют эти законы при анализе и расчете процесса ректификации?
8. Какие задачи решают с помощью этих законов при анализе процессов перегонки жидкостей?
9. Изобразите схему установки непрерывной ректификации бинарной смеси.
10. Изобразите варианты установок для непрерывного разделения трехкомпонентной смеси.
11. Какие аппараты применяют для проведения процессов ректификации? Каковы их отличия от абсорберов? Как располагают в ректификационных установках дефлегматоры и кипятильники?
12. Какие допущения принимают при анализе работы ректификационной колонны графоаналитическим методом?
13. Составьте материальный баланс ректификационной колонны для разделения бинарной смеси.
14. Выведите уравнения рабочих линий для верхней и нижней частей ректификационной колонны.
15. Как определяется минимальное и рабочее флегмовое число? Как влияет флегмовое число на высоту ректификационной колонны?
16. Постройте кривую равновесия и рабочие линии. Как с помощью такой диаграммы определить высоту ректификационной колонны?

17. Составьте тепловой баланс ректификационной колонны. Как определяется расход греющего пара для проведения процессов ректификации? Какие способы экономии расхода теплоты возможны в ректификационной установке?
18. Как определяется оптимальное флегмовое число?
19. Изобразите схему установки для проведения процесса периодической ректификации.
20. Как определяются высота и диаметр ректификационной колонны периодического действия?
21. Изобразите схемы установок для экстрактивной и азеотропной ректификации. В каких случаях целесообразно применение этих процессов?
22. В чем состоят особенности расчета многокомпонентной ректификации?

Сушка

1. В чем состоит сущность конвективной, контактной, радиационной, сублимационной и диэлектрической сушки? В каких случаях целесообразно применять тот или иной вид сушки?
2. В чем состоит различие между абсолютной и относительной влажностью воздуха? Поясните понятие о влагосодержании и энтальпии влажного воздуха.
3. Перечислите и охарактеризуйте виды связи влаги с материалом.
4. Раскройте принципы построения диаграммы Н-х состояния влажного воздуха. Как определяются параметры влажного воздуха с помощью этой диаграммы?
5. В чем особенности материального баланса конвективной сушки?
6. Как определяют расход воздуха (общий и удельный) на сушку?
7. Дайте схему расчета тепловых балансов конвективной и контактной сушки. На чем основано определение удельного расхода теплоты и расхода греющего пара на конвективную сушку?
8. Как строится процесс теоретической и реальной сушки на диаграмме Н-х?
9. Поясните принципы построения кривых и их использования для расчета скорости и времени сушки.
10. Покажите способы выражения движущей силы процесса сушки.
11. На чем основано определение коэффициентов массоотдачи для условий внешней и внутренней диффузии?
12. Как определяются области, лимитирующие общий процесс массопереноса при сушке?
13. На чем основано определение поверхности тепло- и массообмена для первого и второго периодов сушки?
14. На чем основано определение размеров сушилок с псевдоожиженным слоем?
15. В чем особенности расчета сушилок с лимитирующим сопротивлением процессу внутренней фазы?
16. Опишите устройство, раскройте принцип действия камерных и туннельных сушилок. Дайте их сравнительную характеристику.
17. Опишите устройство, раскройте принцип действия барабанных сушилок. Перечислите области их применения. Опишите устройство различных внутренних насадок барабанных сушилок.
18. Опишите устройство, раскройте принцип действия ленточных и петлевых сушилок. Дайте их сравнительную характеристику.
19. Опишите устройство, раскройте принцип действия сушилок с псевдоожиженным слоем, распылительных и пневматических сушилок. Дайте их сравнительную характеристику.
20. Опишите устройство контактных сушилок.
21. Охарактеризуйте специальные виды сушки-радиационную, диэлектрическую, сублимационную. Перечислите области их применения.
22. Назовите методы интенсификации процессов сушки.

Вопросы по закреплению теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями (вопросы к экзамену)

1-й курс

Первый вопрос в экзаменационном билете студента – вопрос по методам моделирования и оптимизации, второй – по тепломассообменным процессам и установкам.

1. Общая классификация теплообменных аппаратов.
2. Принцип действия и разновидности рекуперативных теплообменников.
3. Конструктивные элементы рекуперативных теплообменников.
4. Общие принципы проектирования тепломассообменных установок. Виды проектирования.
5. Основные уравнения теплового расчета тепломассообменных установок.
6. Конструктивный расчет теплообменников.
7. Гидравлический и поверочный расчеты теплообменников.
8. Характеристика и области применения теплоизоляционных материалов.
9. Прочностной расчет теплообменных аппаратов.
10. Способы интенсификации теплообмена.
11. Оценка способа интенсификации теплообмена по коэффициенту теплоэнергетической эффективности.
12. Принцип действия и основные элементы пластинчатых теплообменников.
13. Характеристика процесса выпаривания. Схемы испарительных установок поверхностного типа.
14. Основные соотношения для оценки коэффициентов тепломассообмена при расчетах тепломассообменных установок.
15. Аппаратурное оформление испарительных установок.
16. Расчет многоступенчатых испарителей.
17. Классификация выпарных установок (ВУ) и область их применения.
18. Принцип действия, типы ректификационных колонн, тепловой и материальный баланс.
19. Аппаратурное оформление ректификационных колонн.
20. Расчет колонн непрерывного действия.
21. Метод теоретического числа тарелок.
22. Тепловое оборудование центральных тепловых пунктов (ЦТП).
23. Тепловой баланс помещений. Теплопотери через ограждения.
24. Классификация и область применения отопительных приборов.
25. Сушка жидкотекучих и ленточных материалов. Конструкции сушилок.
26. Конвективные сушилки. Варианты сушки.
27. Кинетика сушки. Дифференциальное уравнение сушки. Периоды сушки.
28. Графическое изображение процесса сушки в i-d диаграмме. Теория i-d диаграммы. Компьютерная реализация i-d диаграммы.
29. Постановка задачи оптимизации для толщины изоляционного слоя.
30. Постановка оптимизационной задачи для теплообменника при нагреве паром.
31. Метод Лагранжа для ограничений в виде равенств. Пример распределения нагрузки между котлоагрегатами.
32. Теорема Куна-Таккера.
33. Штрафные функции. Внешний штраф.
34. Штрафные функции. Внутренний штраф.
35. Идея и алгоритмическое оформление штрафных функций. Виды штрафных

функций.

36. Методы и алгоритмы задач одномерной оптимизации с ограничениями –метод половинного деления, метод золотого сечения.

37. Методы и алгоритмы задач многомерной оптимизации с ограничениями - метод покоординатного спуска, метод градиентного спуска, симплекс-метод.

38. Программное оформление задач с ограничениями в виде штрафных функций.

39. Аналогия тепловых и гидравлических потоков. Критерий Нуссельта.

40. Аналогия уравнений тепло-и массообмена. Критерии тепло-и массообмена.

41. Процессы адсорбции. Основные зависимости и порядок расчета сорбционных установок.

42. Рекуперативные теплообменные аппараты

43. Классификация установок ТМО. Оптимизация, принцип действия, конструкция и основы проектирования. Тепловой, гидравлический и конструкторский расчет. Характеристика теплоносителей и область их использования. Интенсификация теплообмена. Ребристые и пластинчатые установки.

44. Смесительные аппараты

45. Оптимизация, принцип действия и конструкция. Использование h-d диаграмм для расчета. Процессы смешения. Расчет скруббера.

46. Сушильные установки

47. Кинетика и динамика сушки. Классификация и конструкция установок. Конвективная сушка. Построение процессов сушки в h-d диаграмме. Тепловой и материальный баланс.

48. Многоступенчатые выпарные установки (МВУ)

49. Свойства растворов. Принцип работы МВУ, особенности выбора оптимальных схем выпаривания. Материальный и тепловой балансы МВУ. Метод расчета с использованием ЭВМ.

50. Ректификационные и дистилляционные установки

51. Процессы разделения бинарных смесей. Диаграммы равновесия. Схемы дистилляции и ректификации, принцип работы различных установок и методы их расчета.

52. Расчет колонны тарельчатого типа. Повышение эффективности работы.

53. Отопительные системы и приборы и их оптимизация.

54. Тепловое оборудование ЦТП. Тепловой баланс помещений. Теплопотери через ограждения.

55. Классификация и область применения отопительных приборов. Утилизация теплоты на источниках теплоснабжения.

56. Конструкционные и теплоизоляционные материалы, конденсатоотводчики, насосы, газоочистное оборудование. Принцип работы и основы эксплуатации.

57. Математическое моделирование и роль математических моделей в проектировании аппаратов.

58. Особенности построения и реализации математических моделей. Эксперимент как функция оценки правильности построения математической модели.

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

Процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, изложены в методических рекомендациях по изучению курса «Тепломассообменные про-

цессы и установки», в которые входят методические рекомендации к выполнению практических заданий, по выполнению курсовой работы (приложение 1 к настоящей РПД).

7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная литература:

- 1) Комиссаров Ю.А., Гордеев Л.С., Вент Д.П. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 2011. 1230с. (10 шт.)
- 2) Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / 9-е издание, стереотипное [Электронный ресурс]: учебник для вузов. - Электрон. дан. - М.: Издательский дом МЭИ, 2009 - 472 с. - Режим доступа: <http://www.nelbook.ru/?book=140>
- 3) Даминов А.З., Кирсанов Ю.А., Ковальногов Н.Н., Молочников В.М., Назмеев Ю.Г., Николаев А.Н. Теплообменные аппараты ТЭС. В 2 книгах. Книга 1 [Электронный ресурс]: справочник. - Электрон. дан. - М.: Издательский дом МЭИ, 2010. - 491 с. - Режим доступа: <http://www.nelbook.ru/?book=42>
- 4) Кирсанов Ю.А., Ковальногов Н.Н., Назмеев Ю.Г., Мингалеева Г.Р., Михеев Н.И., Шамсутдинов Э.В. Теплообменные аппараты ТЭС. В 2 книгах. Книга 2 [Электронный ресурс]: справочник. - Электрон. дан. - М.: Издательский дом МЭИ, 2010. - 435 с. - Режим доступа: <http://www.nelbook.ru/?book=43>

б) дополнительная литература:

- 1) Теплоэнергетика и теплотехника. Книга 2: Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент / Четвертое издание, стереотипное / под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина [Электронный ресурс]: справочник. - Электрон. дан. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. - 564 с. - Режим доступа: <http://www.nelbook.ru/?book=147>
- 2) Теплоэнергетика и теплотехника. Книга 4: Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / Четвертое издание, стереотипное / под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина [Электронный ресурс]: справочник. - Электрон. дан. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. - 632 с. - Режим доступа: <http://www.nelbook.ru/?book=149>

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. ГСССД 237-2008. Таблицы стандартных справочных данных. Фундаментальные физические константы. Режим доступа: www.docs.cntd.ru/document/1200100402/
2. ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы величин. Режим доступа: www.fsetan.ru/library/doc/gost-8417-2002/
3. Справочный материал по физике. Табличные данные. Режим доступа: www.fizportal.ru/help/

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина предусматривает лекции 6 час, практические занятия 8 часов и 4 час консультаций по курсовой работе. Изучение курса завершается защитой курсовой работы с оценкой и экзаменом.

Успешное изучение курса требует посещения лекций, активной работы на практических занятиях, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

Во время **лекции** студент должен вести краткий конспект.

Работа с конспектом лекций предполагает просмотр конспекта в тот же день после занятий. Для этого необходимо отметить материалы конспекта, которые вызывают затруднения для понимания. При этом обучающийся должен стараться найти ответ на затруднительный вопрос, используя рекомендованную литературу. Если ему самостоятельно не удалось разобраться с материалом, необходимо сформулировать вопросы и обратиться к преподавателю на консультации или ближайшей лекции.

Обучающемуся необходимо регулярно отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

Практические (семинарские) занятия составляют важную часть профессиональной подготовки студентов. Основная цель проведения практических (семинарских) занятий – формирование у студентов аналитического, творческого мышления путем приобретения практических навыков.

Методические указания к практическим (семинарским) занятиям по дисциплине наряду с рабочей программой и графиком учебного процесса относятся к методическим документам, определяющим уровень организации и качества образовательного процесса.

Содержание *практических (семинарских) занятий* фиксируется в РПД в разделе 4 настоящей программы.

Важной составляющей любой формы практических занятий являются упражнения (задания). Основа в упражнении – пример, который разбирается с позиции теории, развитой в лекции. Как правило, основное внимание уделяется формированию конкретных умений, навыков, что и определяет содержание деятельности студентов – решение задач, выполнение курсовой работы, уточнение категории и понятий науки, являющихся предпосылкой грамотного понимания материала.

Практические (семинарские) занятия выполняют следующие задачи:

стимулируют регулярное изучение рекомендованной литературы, а также внимательное отношение к лекционному курсу;

закрепляют знания, полученные в процессе лекционного обучения и самостоятельной работы над литературой;

расширяют объем профессионально значимых знаний, умений, навыков;

позволяют проверить правильность ранее полученных знаний;

прививают навыки самостоятельного мышления, устного выступления;

способствуют свободному оперированию терминологией;

предоставляют преподавателю возможность систематически контролировать уровень самостоятельной работы студентов.

При подготовке к **практическим занятиям** необходимо просмотреть конспекты лекций и методические указания, рекомендованную литературу по данной теме; подготовиться к ответу на контрольные вопросы.

На практическом занятии студенты под руководством преподавателя решают задачи по данной теме. За 10-15 до окончания занятия преподаватель проводит письменное тестирование или блиц-опрос, по результатам которых выставляется оценка за практическое занятие.

При подготовке к **экзамену** в дополнение к изучению конспекта лекций и учебных пособий, необходимо пользоваться учебной литературой, рекомендованной в настоящей программе. При подготовке к зачету и экзамену нужно изучить теорию: определения всех понятий и законов до состояния понимания материала, самостоятельно решить по нескольку типовых задач по каждой теме.



Самостоятельная работа студентов (СРС) по дисциплине играет важную роль в ходе всего учебного процесса. Методические материалы и рекомендации для обеспечения СРС готовятся преподавателем и выдаются студенту.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

При проведении лекционных и практических занятий предусматривается использование систем мультимедиа.

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Проведение практических занятий по дисциплине проводится в аудитории, оснащенной системой мультимедиа и персональными ЭВМ.

Автор к.т.н., доцент

Михайлов В.А.

Зав. кафедрой ПТЭ к.т.н., доцент

Михайлов В.А.

Программа одобрена на заседании кафедры ПТЭ от 24 января 2017 года, протокол №1.