

Учреждение образования
«БЕЛОРУСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ С.А.Касперович

« 23 » _____ 06 _____ 2016 г.
Регистрационный №УД- 523/уч.

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1–36 07 01 Машины и аппараты химических производств
и предприятий строительных материалов
специализации 1–36 07 01 01 Машины и аппараты
химических производств**

2016 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования специальности 1–36 07 01 Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов, введенного в действие 30.08.2013 г. постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 88.

СОСТАВИТЕЛИ:

А.А. Боровик, доцент кафедры процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент;

А.И. Вилькоцкий, доцент кафедры процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

С.М. Пастухов – начальник кафедры пожарной и промышленной безопасности ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь, кандидат технических наук, доцент;

О.А. Петров – доцент кафедры машин и аппаратов химических и силикатных производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», (протокол № 9 от 11 мая 2016 г.);

Методической комиссией факультета химической технологии и техники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № ____ от _____)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Актуальность изучения дисциплины

Дисциплина «Процессы и аппараты в химических производствах» является фундаментальной общеинженерной при подготовке специалистов для предприятий химической промышленности. Она дает возможность приобрести знания теоретических основ химической технологии, типовых химико-технологических процессах и аппаратах, основ методов их расчета.

Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины – подготовка инженеров-механиков для последующей успешной профессиональной деятельности за счет приобретения знаний в области основных процессов и аппаратов химической технологии. Эти знания необходимы для понимания и решения вопросов технологического характера, а также при проектировании химического оборудования.

Основные задачи дисциплины – обучение студентов теории процессов и аппаратов химической технологии, основам методик их расчета, анализа и моделирования, в том числе при синтезе технических, инженерных и экономических задач, получение студентами первичных навыков решения конкретных прикладных задач, а также навыков технологического проектирования аппаратов и установок.

Для овладения дисциплиной «Процессы и аппараты химических производств» необходимы знания таких естественнонаучных, общепрофессиональных и специальных дисциплин, как «Высшая математика», «Физика», «Общая, неорганическая и физическая химия», «Теоретическая механика», «Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод», «Информатика и компьютерная графика», «Термодинамика и теплопередача».

При последующем обучении студентов материалы дисциплины «Процессы и аппараты химических производств», в первую очередь, будут востребованы при изучении дисциплин «Машины и аппараты химических производств» и «Моделирование и оптимизация технологических процессов». Также знания процессов и аппаратов химической технологии необходимы при прохождении производственной и преддипломной практик, при анализе и разработке технологических вопросов в дипломных проектах.

Требования к усвоению учебной дисциплины

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты в химической технологии» студент должен:

знать:

- теоретические основы и назначение важнейших технологических процессов, используемых на химических предприятиях и предприятиях смежных отраслей;
- типовые аппараты и установки для реализации основных химико-технологических процессов;
- современные технологии и аппараты для осуществления химико-технологических процессов, методы интенсификации и оптимизации работы действующих аппаратов и установок, основные пути совершенствования химической техники;
- основные положения и методы моделирования, расчета, оптимизации и технико-экономического анализа процессов и аппаратов;

уметь:

- решать конкретные инженерно-технологические задачи путем анализа, расчета, моделирования и оптимизации процессов и аппаратов;
- использовать отраслевую научно-техническую информацию для сопоставления экологической безопасности родственных процессов и аппаратов;
- применять в дальнейшей профессиональной деятельности приобретенные инженерные знания для решения конкретных задач по повышению экологической безопасности технологических процессов и аппаратов;
- оценивать соответствие поставленным технологическим целям проектных решений.

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты химических производств» студент формирует компетенции, позволяющие

владеть:

- применением базовых научно-теоретических знаний для решения теоретических и практических задач;
- знаниями в области теории и практического использования важнейших химико-технологических и смежных процессов и аппаратов;
- междисциплинарным подходом для решения теоретических и практических задач;
- основами расчета, анализа и оптимизации химико-технологических процессов и аппаратов;
- умением использовать отраслевую научно-техническую и патентную информацию для решения задач устойчивого развития производственных подразделений предприятия (организации), выпуска экологически безопасной продукции, внедрения экологически безопасных технологий;
- навыками контроля отраслевых технологических процессов;
- пониманием сущности проектно-конструкторской и технологической подготовки производства;

– навыками ведения отдельных стадий производственной деятельности организации (предприятия), включая исследования и разработки.

Требования к компетентности специалиста

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты химических производств» у студента должны сформироваться следующие академические, социально-личностные и профессиональные компетенции:

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- быть способным разрабатывать и применять прогрессивные ресурсо- и энергосберегающие, экологически безопасные технологии и процессы;
- уметь работать самостоятельно;
- быть способным находить правильные решения в условиях чрезвычайных и аварийных ситуаций на предприятиях;
- быть способным разрабатывать современные подходы по применению инженерных расчетов различных производственно-технологических объектов;
- уметь разрабатывать проекты новых производственных процессов и реконструкции и модернизации действующих производств;
- уметь работать с научной, специальной, технической и нормативно-справочной литературой;
- быть способным осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по инновационным технологиям, процессам и аппаратам.

Структура дисциплины

Поставленные цели и задачи реализуются:

- на лекциях;
- на практических занятиях;
- на лабораторных занятиях;
- при выполнении курсовой работы.

На лекциях рассматриваются:

- классификация, назначение и теоретические основы процессов и аппаратов;
- технико-экономические аспекты выбора разновидностей процессов и режимов их проведения, типов аппаратов и установок;
- основы инженерных расчетов процессов, аппаратов и установок, а также их моделирования и оптимизации, в том числе с использованием современных информационных технологий;
- основные принципы аппаратурного оформления химических производств;
- типовые и современные аппараты и установки для осуществления химико-технологических процессов, перспективные направления развития химической техники и науки о процессах и аппаратах;
- вопросы экологической и производственной безопасности.

В ходе практических и лабораторных занятий студентами приобретаются навыки решения прикладных инженерных задач, а также осуществляется текущий мониторинг и контроль усвоения теоретического материала.

Завершающей стадией изучения дисциплины является выполнение курсовой работы. Оно преследует цель закрепить у студентов полученные знания по практическому расчету и технологическому проектированию аппаратов и установок.

Место и объем учебной дисциплины

В соответствии с учебным планом на изучение дисциплины отводится 38 часов, в том числе 182 аудиторных. Из них на лекции выделяется 100 часов, на практические занятия – 32 часа, на лабораторные занятия – 50 часов. На выполнение курсовой работы выделяется 30 часов. Форма контроля знаний – экзамены.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Введение

Содержание, задачи и роль дисциплины в подготовке инженеров-механиков химических производств. Связь дисциплины с другими учебными дисциплинами.

Классификация химико-технологических процессов и аппаратов. Роль совершенствования процессов и аппаратов в дальнейшем научно-техническом прогрессе, решении проблем энергосбережения.

Основные принципы анализа и моделирования процессов и аппаратов. Общие закономерности расчетов и анализа процессов переноса субстанции. Основное кинетическое уравнение. Техничко-экономическая оптимизация процессов и аппаратов.

Раздел 1. Гидромеханические процессы и аппараты

Тема 1.1. Гидродинамика гетерогенных систем

Классификация гетерогенных систем, их роль и место в технологических процессах и окружающей среде.

Движение тел в жидкости. Режимы движения. Расчет сил сопротивления при движении тела в жидкости. Состояние динамического равновесия при осаждении тела под действием силы тяжести. Методы расчета скорости осаждения в условиях динамического равновесия.

Движение двухфазных потоков: пленочное движение жидкости в газе, барботаж.

Движение потока через слой зернистого материала (пористый слой). Характеристики слоя зернистого материала. Состояние слоя зернистого материала (неподвижное, псевдооживленное, уноса), их место в технологических процессах. Гидравлическое сопротивление неподвижного и псевдооживленного слоев зернистого материала. Расчет основных параметров псевдооживленного слоя зернистого материала. Достоинства и недостатки, пути совершенствования аппаратов с псевдооживленным слоем зернистого материала.

Тема 1.2. Разделение гетерогенных систем

Методы разделения гетерогенных систем. Основные критерии выбора метода разделения.

Материальный баланс процесса разделения.

Осаждение под действием сил тяжести (гравитационное). Основные положения расчета отстойников. Типовые конструкции отстойников для разделения суспензий, эмульсий и газовзвесей.

Фильтрация. Движущая сила процесса и методы ее создания. Классификация механизмов фильтрации, осадков и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрации при постоянных разности давлений и скорости процесса. Промывка осадка. Стадии фильтрации. Классификация фильтров и их типовые конструкции.

Разделение под действием инерционных сил. Разновидности инерционного разделения. Инерционные пыле- и каплеуловители. Центробежные аппараты для разделения – циклоны и центрифуги. Центробежный фактор разде-

ления. Циклоны для очистки газов и гидроциклоны. Центрифуги, их классификация и области применения. Конструкции фильтрующих и осадительных центрифуг.

Мокрая очистка газов. Конструкции аппаратов для мокрой очистки газов. Скрубберы-пылеуловители.

Электрофильтры для очистки газов.

Флотация, физические основы процесса. Конструкции флотаторов.

Пути повышения энергетической эффективности и совершенствования аппаратов и установок для разделения гетерогенных систем.

Тема 1.3. Перемешивание в жидких средах

Назначение и роль процессов перемешивания. Способы перемешивания. Интенсивность и эффективность перемешивания. Технико-экономическое обоснование интенсивности перемешивания. Механическое перемешивание. Конструкции и области применения типовых и современных мешалок. Мощность привода мешалки, ее расчет. Пневмоперемешивание.

Раздел 2. Тепловые процессы и аппараты

Тема 2.1. Основы теории теплообмена

Роль тепловых процессов в химической промышленности и других сферах деятельности человека. Механизмы переноса тепла, тепловые балансы. Движущая сила теплообмена.

Закон Фурье. Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок при установившемся теплообмене.

Перенос тепла конвекцией. Дифференциальное уравнение конвективного переноса тепла (уравнение Фурье-Киргофа). Уравнение теплоотдачи. Основные положения теплового подобия. Критерии теплового подобия, общий вид критериальных уравнений для описания теплообменных процессов.

Теплоотдача при вынужденной и естественной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителя, при конденсации пара, кипении жидкости.

Перенос тепла лучеиспусканием. Сложный теплообмен.

Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи для плоских и цилиндрических стенок. Взаимосвязь коэффициента теплопередачи с коэффициентами теплоотдачи и тепловой проводимостью стенки. Способы интенсификации теплопереноса. Движущая сила теплопередачи, расчет средней разности температур при различных способах движения теплоносителя.

Тема 2.2. Теплообменные аппараты и промышленные способы использования тепла

Классификация теплоносителей. Требования, предъявляемые к теплоносителям.

Основные греющие теплоносители (топочные газы, водяной пар, горячая вода) и способы их использования. Основные охлаждающие теплоносители (вода, воздух) и способы их использования. Специальные греющие и охлаждающие теплоносители. Выбор теплоносителей.

Классификация теплообменных аппаратов.

Поверхностные теплообменники. Смесительные теплообменники. Регенеративные теплообменники. Интенсификация теплообмена в аппаратах, перспективные направления совершенствования теплообменников. Выбор и оптимизация теплообменников. Основные положения теплотехнического расчета поверхностных теплообменников. Методы приближений при расчете коэффициентов теплопередачи.

Тема 2.3. Выпаривание

Сущность процесса выпаривания, его значение и методы осуществления. Материальный баланс процесса. Определение температуры кипения раствора, депрессии. Тепловой баланс выпарного аппарата. Удельный расход греющего пара на выпаривание. Движущая сила выпаривания (полезная разность температур).

Одно- и многокорпусные выпарные установки. Обоснование числа корпусов выпарной установки и оптимизация ее энергопотребления. Классификация выпарных аппаратов. Рекомендации по выбору режимов выпаривания, выпарных аппаратов и установок, их оптимизации и интенсификации. Порядок расчета выпарного аппарата.

Раздел 3. Массообменные процессы и аппараты

Тема 3.1. Основы массопередачи

Общая характеристика и классификация массообменных процессов. Их роль и место в химической промышленности и других сферах деятельности человека. Движущая сила массообмена.

Способы выражения состава фаз. Равновесие при массообмене, его законы. Материальный баланс массообменного процесса (аппарата). Уравнение рабочей линии массообменного процесса (колонного аппарата).

Механизмы переноса вещества при массообмене. Молекулярная диффузия. Законы Фика. Конвективный перенос вещества (турбулентная диффузия). Дифференциальное уравнение конвективного массообмена.

Уравнение массоотдачи. Движущая сила массоотдачи. Основные положения теории диффузионного подобия. Применения теории диффузионного подобия для описания и расчетов массообменных процессов.

Массопередача. Основное уравнение массопередачи. Взаимосвязь коэффициентов массопередачи с коэффициентами массоотдачи. Движущая сила массопередачи, расчет ее средней величины.

Основы расчета массообменных аппаратов. Общие положения и порядок расчетов. Определение размеров массообменного аппарата с использованием основного уравнения массопередачи. Модифицированное уравнение массопередачи. Понятие о единице переноса. Определение высоты аппарата через число и высоту единиц переноса. Коэффициент извлечения. Влияние перемешивания на массообмен. Степень изменения концентрации, теоретическая степень взаимодействия фаз. Эффективность ступени изменения концентрации. Определение высоты аппарата через число ступеней изменения концентрации.

Общие принципы интенсификации и оптимизации массообменных процессов и аппаратов.

Тема 3.2. Абсорбция

Общие сведения об абсорбции, ее роль и место в химической и смежных технологиях.

Равновесие при абсорбции. Десорбция, ее роль и методы осуществления.

Материальный баланс абсорбера и его рабочая линия. Технико-экономическое обоснование рабочего расхода абсорбента и размеров абсорбера. Тепловые процессы при абсорбции и их влияние на равновесие. Хемосорбция.

Классификация абсорберов. Типовые конструкции абсорберов (распылительные, насадочные, тарельчатые и др.). Гидравлическое сопротивление абсорбера. Порядок расчета абсорбера.

Рекомендации по оптимизации выбора режимов проведения абсорбции и ее аппаратного оформления. Пути совершенствования абсорбционно-десорбционных процессов и аппаратов и их энергетической эффективности.

Тема 3.3. Перегонка и ректификация

Общая характеристика процессов, их место и роль в химической и смежных технологиях.

Равновесие в системе пар – жидкость. Движущая сила процесса перегонки.

Простая перегонка. Ее материальный баланс. Установка простой перегонки.

Ректификация. Установка для непрерывной ректификации бинарной смеси. Материальный баланс непрерывной бинарной ректификации. Уравнения рабочих линий бинарной ректификации. Основные уравнения теплового баланса непрерывно действующей ректификационной установки.

Расчет минимального и технико-экономическое обоснование рабочего флегмовых чисел. Оптимизация размеров ректификационного аппарата и энергопотребления ректификационной установки.

Конструкции тарельчатых ректификационных колонн.

Порядок расчета ректификационной колонны и установки.

Тема 3.4. Термическая сушка

Общая характеристика процесса, его роль и место в химических производствах и других сферах деятельности человека. Формы связи влаги с материалом. Методы сушки и технико-экономическое обоснование способов удаления влаги из материалов.

Конвективная сушка. Сушительные агенты и их выбор. Параметры состояния сушильного агента, I - x -диаграмма влажного воздуха. Механизмы переноса влаги в фазах при сушке, кинетика процесса. Движущая сила сушки. Материальный и тепловой балансы конвективной сушилки. Теоретическая и действительная сушилки. Отображение изменения параметров сушильного агента на I - x -диаграмме. Последовательность расчета конвективной сушилки.

Классификация сушилок и сушильных установок, их общая характеристика. Камерная сушилка. Специальные сушилки (радиационные, контактные, сублимационные). Пути повышения интенсивности и энергоэффективности процессов сушки, совершенствования сушилок.

Тема 3.5. Адсорбция

Общая характеристика процесса, его роль и место в технологиях. Современные адсорбенты. Материальный баланс адсорбции. Типовые конструкции адсорберов. Пути и методы повышения эффективности адсорбционных установок.

Тема 3.6. Жидкостная экстракция

Экстракция из растворов, общая характеристика процессов. Равновесие в системе жидкость – жидкость, тройные диаграммы. Аппаратурно-технологическое оформление экстракции. Расчет экстракционных аппаратов.

Тема 3.7. Растворение и экстрагирование в системе твердое тело – жидкость

Растворение твердых тел, его роль и место. Условия равновесия при растворении и экстрагировании. Аппаратурно-технологическое оформление процесса.

Тема 3.8. Кристаллизация из растворов и расплавов

Методы проведения кристаллизации. Равновесие при кристаллизации. Материальный и тепловой балансы.

Тема 3.9. Мембранные процессы

Общие сведения о процессах и их применение. Классификация мембранных процессов и мембран. Конструкции аппаратов. Расчет мембранных процессов и аппаратов.

Тема 3.10. Ионный обмен

Равновесие при ионном обмене и его динамика. Конструкции и расчет ионообменных аппаратов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Форма контроля знаний
		лекции	практические занятия	лабораторные занятия	управляемая самостоятельная работа студента		
1	2	3	4	5	6	7	8
	<p>7 семестр Введение. Содержание, задачи и роль дисциплины в подготовке инженеров-энергомеджеров. Связь дисциплины с другими учебными дисциплинами. Классификация химико-технологических процессов и аппаратов. Роль совершенствования процессов и аппаратов в дальнейшем научно-техническом прогрессе, решении проблем энергосбережения. Основные принципы анализа и моделирования процессов и аппаратов. Общие закономерности расчетов и анализа процессов переноса субстанции. Основное кинетическое уравнение. Технико-экономическая оптимизация процессов и аппаратов.</p>	2	–	–	–	[1–4] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса	
1	Гидромеханические процессы и аппараты	27	10	18	83		
1.1	<p>Гидродинамика гетерогенных систем Классификация гетерогенных систем, их роль и место в технологических процессах и окружающей среде.</p>	1	–	–	2	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса	Экзамен. Выполнение задач.

	<p>Движение тел в жидкости. Режимы движения. Расчет сил сопротивления при движении тела в жидкости. Состояние динамического равновесия при осаждении тела под действием силы тяжести. Методы расчета скорости осаждения в условиях динамического равновесия.</p> <p>Движение двухфазных потоков: барботаж, пленочное движение жидкости в газе.</p> <p>Движение потока через слой зернистого материала (пористый слой). Характеристики слоя зернистого материала. Состояние слоя зернистого материала (неподвижное, псевдооживленное, уноса), их место в технологических процессах. Гидравлическое сопротивление неподвижного и псевдооживленного слоев зернистого материала. Расчет основных параметров псевдооживленного слоя зернистого материала. Достоинства и недостатки, пути совершенствования аппаратов с псевдооживленным слоем зернистого материала.</p>	2	1	–	12	тимедийного комплекса.	Опрос.
		3	–	–	4		
		6	2	4	18		
1.2	<p>Разделение гетерогенных систем.</p> <p>Методы разделения гетерогенных систем. Основные критерии выбора метода разделения. Материальный баланс процесса разделения.</p> <p>Осаждение под действием сил тяжести (гравитационное). Основные положения расчета отстойников. Типовые конструкции отстойников для разделения суспензий, эмульсий и газозвесей.</p> <p>Фильтрация. Движущая сила процесса и методы ее создания. Классификация механизмов фильтрации, осадков и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрации при постоянных разности давлений и скорости процесса. Промывка осадка. Стадии фильтрации. Классификация фильтров и их типовые конструкции.</p>	1	–	–	2	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен. Выполнение задач. Опрос.
		2	1	2	2		
		2	1	3	8		

	<p>Разделение под действием инерционных сил. Разновидности инерционного разделения. Инерционные пыле- и каплеуловители. Центробежные аппараты для разделения – циклоны и центрифуги. Центробежный фактор разделения. Циклоны для очистки газов и гидроциклоны. Центрифуги, их классификация и области применения. Конструкции фильтрующих и осадительных центрифуг.</p> <p>Мокрая очистка газов. Скрубберы-пылеуловители. Конструкции аппаратов для мокрой очистки газов.</p> <p>Электрофильтры для очистки газов.</p> <p>Флотация. Физические основы процесса. Конструкции флотаторов.</p> <p>Пути повышения энергетической эффективности и совершенствования аппаратов и установок для разделения гетерогенных систем.</p>	3	1	3	6		
		1	–	–	4		
		1	–	–	4		
		1	–	–	4		
		1	–	–	2		
1.3	<p>Перемешивание в жидких средах</p> <p>Назначение и роль процессов перемешивания. Способы перемешивания. Интенсивность и эффективность перемешивания. Техно-экономическое обоснование интенсивности перемешивания. Механическое перемешивание. Конструкции и области применения типовых и современных мешалок. Мощность привода мешалки, ее расчет. Пневмоперемешивание.</p>	3	2	4	15	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен.
2	Тепловые процессы и аппараты	14	7	12	43		
2.1	<p>Основы теории теплообмена.</p> <p>Роль тепловых процессов в химической промышленности и других сферах деятельности человека. Механизмы переноса тепла, тепловые балансы. Движущая сила теплообмена.</p> <p>Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок при установившемся теплообмене.</p> <p>Перенос тепла конвекцией. Естественная и вынужденная конвекция. Дифференциальное уравнение конвективного пере</p>	0,5	–	–	2	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен. Выполнение задач. Опрос.
		0,5	–	–	2		

	<p>носа тепла (уравнение Фурье-Киргофа). Уравнение теплоотдачи. Основные положения теплового подобия. Критерии теплового подобия. Общий вид критериальных уравнений для описания теплообменных процессов.</p> <p>Теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителя, при конденсации пара, кипении жидкости.</p> <p>Перенос тепла лучеиспусканием. Сложный теплообмен.</p> <p>Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи для плоских и цилиндрических стенок. Взаимосвязь коэффициента теплопередачи с коэффициентами теплоотдачи и тепловой проводимостью стенки. Способы интенсификации теплопереноса. Движущая сила теплопередачи, расчет средней разности температур при различных способах движения теплоносителей.</p>	1	–	–	4		
	Теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителя, при конденсации пара, кипении жидкости.	0,5	–	–	4		
	Перенос тепла лучеиспусканием. Сложный теплообмен.	0,5	–	–	2		
	Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи для плоских и цилиндрических стенок. Взаимосвязь коэффициента теплопередачи с коэффициентами теплоотдачи и тепловой проводимостью стенки. Способы интенсификации теплопереноса. Движущая сила теплопередачи, расчет средней разности температур при различных способах движения теплоносителей.	1	–	–	4		
2.2	<p>Теплообменные аппараты и промышленные способы использования тепла.</p> <p>Классификация теплоносителей. Требования, предъявляемые к теплоносителям.</p> <p>Основные греющие теплоносители (топочные газы, водяной пар, горячая вода) и способы их использования. Основные охлаждающие теплоносители (вода, воздух) и способы их использования. Специальные греющие и охлаждающие теплоносители. Выбор теплоносителей.</p> <p>Классификация теплообменных аппаратов.</p> <p>Поверхностные теплообменники. Регенеративные теплообменники. Смесительные теплообменники. Интенсификация теплообмена в аппаратах, перспективные направления совершенствования теплообменников. Выбор и оптимизация теплообменников. Основные положения теплотехнического расчета поверхностных теплообменников. Методы приближений при расчете коэффициентов теплопередачи.</p>	0,5	–	–	1	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен. Выполнение задач. Опрос.
	Основные охлаждающие теплоносители (вода, воздух) и способы их использования. Специальные греющие и охлаждающие теплоносители. Выбор теплоносителей.	0,5	–	–	2		
	Классификация теплообменных аппаратов.	0,5	–	–	1		
	Поверхностные теплообменники. Регенеративные теплообменники. Смесительные теплообменники. Интенсификация теплообмена в аппаратах, перспективные направления совершенствования теплообменников. Выбор и оптимизация теплообменников. Основные положения теплотехнического расчета поверхностных теплообменников. Методы приближений при расчете коэффициентов теплопередачи.	2,5	4	4	9		

2.3	<p>Выпаривание.</p> <p>Сущность процесса выпаривания, его значение и методы осуществления. Материальный баланс процесса. Определение температуры кипения раствора, депрессии. Тепловой баланс выпарного аппарата. Удельный расход греющего пара на выпаривание. Движущая сила выпаривания (полезная разность температур).</p> <p>Одно- и многокорпусные выпарные установки. Обоснование числа корпусов выпарной установки и оптимизация ее энергопотребления. Классификация выпарных аппаратов, их типовые конструкции. Рекомендации по выбору режимов выпаривания, выпарных аппаратов и установок, их оптимизации и интенсификации. Порядок расчета выпарного аппарата.</p>	2	1	2	4	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен.
3	8 семестр Массообменные процессы и аппараты	57	15	24	20		
3.1	<p>Основы массопередачи</p> <p>Общая характеристика и классификация массообменных процессов. Их роль и место в химической промышленности и сферах деятельности человека. Движущая сила массообмена.</p> <p>Способы выражения состава фаз. Равновесие при массообмене, его законы. Материальный баланс массообменного процесса (аппарата). Уравнение рабочей линии массообменного процесса (аппарата).</p> <p>Механизмы переноса вещества при массообмене. Молекулярная диффузия. Законы Фика. Конвективный перенос вещества (турбулентная диффузия). Дифференциальное уравнение конвективного массообмена.</p> <p>Уравнение массоотдачи. Движущая сила массоотдачи. Основные положения теории диффузионного подобия. Применения теории диффузионного подобия для описания и расчетов массообменных процессов.</p>	0,5	–	–	–	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен.
		1	0,5	–	–		Выполнение задач. Опрос.
		1	–	–	1		
		1,5	–	–	1		

	<p>Массопередача. Основное уравнение массопередачи. Взаимосвязь коэффициентов массопередачи с коэффициентами массоотдачи. Движущая сила массопередачи, расчет ее средней величины.</p> <p>Основы расчета массообменных аппаратов. Общие положения и порядок расчетов. Определение размеров массообменного аппарата с использованием основного уравнения массопередачи. Модифицированное уравнение массопередачи. Понятие о единице переноса. Определение высоты аппарата через число и высоту единиц переноса. Коэффициент извлечения. Влияние перемешивания на массообмен. Степень изменения концентрации, теоретическая степень взаимодействия фаз. Эффективность ступени изменения концентрации. Определение высоты аппарата через число ступеней изменения концентрации.</p> <p>Общие принципы интенсификации и оптимизации массообменных процессов и аппаратов.</p>	2	0,5	–	1		
		5	2	–	2		
		1	–	–	–		
3.2	<p>Абсорбция.</p> <p>Общие сведения об абсорбции, ее роль и место в химической и смежных технологиях.</p> <p>Равновесие при абсорбции. Десорбция, ее роль и методы осуществления.</p> <p>Материальный баланс абсорбера и его рабочая линия. Техничко-экономическое обоснование рабочего расхода абсорбента и размеров абсорбера. Тепловые эффекты при абсорбции и их влияние на равновесие. Хемосорбция.</p> <p>Классификация абсорберов. Типовые конструкции абсорберов (распылительные, насадочные, тарельчатые и др.). Гидравлическое сопротивление абсорберов. Порядок расчета абсорбера.</p>	0,5	–	–	–		
		1	–	–	–		
		1,5	2	4	–		
		3	–	4	–		

	Рекомендации по оптимизации выбора режимов проведения абсорбции и ее аппаратного оформления. Пути совершенствования абсорбционно-десорбционных процессов и аппаратов и их энергетической эффективности.	3	1	–	–		
3.3	<p>Перегонка и ректификация</p> <p>Общая характеристика процессов, их место и роль в химической и смежных технологиях.</p> <p>Равновесие в системе пар – жидкость. Движущая сила процесса перегонки.</p> <p>Простая перегонка. Ее материальный баланс. Установка простой перегонки.</p> <p>Ректификация. Установка для непрерывной ректификации бинарной смеси. Материальный баланс непрерывной бинарной ректификации. Уравнения рабочих линий бинарной ректификации. Основные уравнения теплового баланса непрерывно действующей ректификационной установки.</p> <p>Расчет минимального и технико-экономическое обоснование рабочего флегмовых чисел. Оптимизация размеров ректификационного аппарата и энергопотребления ректификационной установки.</p> <p>Конструкции тарельчатых ректификационных колонн.</p> <p>Порядок расчета ректификационной колонны и установки.</p>					[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен. Выполнение задач. Опрос.
3.4	<p>Термическая сушка.</p> <p>Общая характеристика процесса, его роль и место в химических производствах и других сферах деятельности человека. Формы связи влаги с материалом. Методы сушки и технико-экономическое обоснование способов удаления влаги из материалов.</p> <p>Конвективная сушка. Сушильные агенты и их выбор. Параметры состояния сушильного агента, <i>I</i>-<i>x</i>-диаграмма влажного</p>	1	–	4	–	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен. Выполнение задач. Опрос.

	<p>воздуха. Механизмы переноса влаги в фазах при сушке, кинетика процесса. Движущая сила сушки. Материальный и тепловой балансы конвективной сушилки. Теоретическая и действительная сушилки. Отображение изменения параметров сушильного агента на I-x-диаграмме. Последовательность расчета конвективной сушилки.</p>	5	2	4	–		
	<p>Классификация сушилок и сушильных установок, их общая характеристика. Камерная сушилка. Специальные сушилки (радиационные, контактные, сублимационные). Пути повышения интенсивности и энергоэффективности процессов сушки, совершенствования сушилок.</p>	2	1	–	–		
3.5	<p>Адсорбция. Общая характеристика процесса, его роль и место в технологиях. Современные адсорбенты. Материальный баланс адсорбции. Типовые конструкции адсорберов. Пути и методы повышения эффективности адсорбционных установок.</p>	6	2	4	–	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен. Выполнение задач. Опрос.
3.6	<p>Жидкостная экстракция Экстракция из растворов, общая характеристика процессов. Равновесие в системе жидкость – жидкость, тройные диаграммы. Аппаратурно-технологическое оформление экстракции. Расчет экстракционных аппаратов.</p>	5	–	–	–	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен. Выполнение задач. Опрос.
3.7	<p>Растворение и экстрагирование в системе твердое тело – жидкость Растворение твердых тел, его роль и место. Условия равновесия при растворении и экстрагировании. Аппаратурно-технологическое оформление процесса.</p>	2	–	–	4	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен. Выполнение задач. Опрос.

3.8	Кристаллизация из растворов и расплавов Методы проведения кристаллизации. Равновесие при кристаллизации. Материальный и тепловой балансы.	2	–	–	4	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен. Выполнение задач. Опрос.
3.9	Мембранные процессы Общие сведения о процессах и их применение. Классификация мембранных процессов и мембран. Конструкции аппаратов. Расчет мембранных процессов и аппаратов	2	–	–	4	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен. Выполнение задач. Опрос.
3.10	Ионный обмен Равновесие при ионном обмене и его динамика. Конструкции и расчет ионообменных аппаратов.	2	–	–	4	[1–11] Плакаты, видеоматериалы для мультимедийного комплекса.	Экзамен. Выполнение задач. Опрос.
	Курсовая работа				30		
Всего по дисциплине		100	32	50	176		

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

Наименование	Кол. экз-ов в библиотеке
1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2005. – 751 с.	52
2. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. В 2-х кн. / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1995. – 399 с. + 368 с.	185+180
3. Маркаў, У.А. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі У 2 ч. Ч. 1. Гідрамеханічныя і механічныя працэсы / У.А. Маркаў, П.Я. Вайцяховіч. – Мн.: БДТУ, 2002. – 302 с.	394
4. Маркаў, У.А. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі У 2 ч. Ч. 2. Цеплавая і масаабменная працэсы / У.А. Маркаў. – Мн.: БДТУ, 2006. – 442 с.	394
5. Боровик, А.А. Процессы и аппараты химической технологии. Сборник примеров и задач. В 2 ч. Ч. 1. Техническая гидравлика Гидромеханические процессы / А.А. Боровик, С.К. Протасов, В.А. Марков. – Мн.: БГТУ, 2006. – 332 с.	540
6. Боровик, А.А. Процессы и аппараты химической технологии. Сборник примеров и задач. В 2 ч. Ч. 2. Тепловые процессы/ А.А. Боровик, С.К. Протасов, В.А. Марков. – Мн.: БГТУ, 2013. – 418 с.	572
7. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков – М.: Альянс, 2007. – 576 с.	104
8. Калишук, Д.Г. Процессы и аппараты химической технологии: учеб.-метод. Пособие для студентов специальностей 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий», 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий», 1-48 01 04 «Технология электрохимических производств», 1-48 02 01 «Биотехнология» / Д.Г. Калишук, Н.П. Саевич, А.И. Вилькоцкий. – Минск: БГТУ, 2011. – 426 с.	229
9. Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. – СПб.: Химиздат, 2009. – 542 с.	10
10. Маркаў, У.А. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі. Практыкум: вучэб. Дапаможнік для студэнтаў хіміка-тэхналагічных спецыяльнасцей / У.А.Маркаў, С.К.Пратасаў, А.А.Баравік. – Мінск: БДТУ, 2008. – 210 с.	

11. Марков, В.А. Процессы и аппараты химической технологии. Лабораторный практикум: Учеб. Пособие для студентов высших учебных заведений по химико-технологическим специальностям / В.А.Марков, С.К.Протасов, А.А.Боровик. – Минск: БГТУ, 2011. – 206 с.	
--	--

Перечень дополнительной литературы

Наименование	Кол. экз-ов в библиотеке
12. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. В 3-х ч. Ч. 1 и 2. – С.-Пб.: АНО НПО «Профессионал», 2004, 2006. – 848 + 948 с.	1
13. Справочник химика. Т. 5. Под ред. Никольского. – М.–Л.: Химия, 1966. – 976 с.	13
14. Перри Дж. Справочник инженера-химика. Пер. с англ. В 2-х кн. / Дж. Перри. – Л.: Химия, 1969. – 640 + 504 с.	84
15. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н.И. Гельперин. – М.: Химия, 1981. – 812 с.	161
16. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев.– М.: Химия, 1987. – 496 с.	44
17. Айнштейн В.Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2-х кн. / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов и др.; Под ред. В.Г. Айнштейна. – М.: Логос; Высшая школа, 2002. – 912 + 872 с.	1
18. Шервуд Т. Массопередача / Т. Шервуд, Р.Л. Пигфорд, У. Уилки. – М.: Химия, 1982. – 696 с.	13
19. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования / И.А. Александров. – М.: Химия, 1978. – 280 с.	40
20. Рамм В.М. Абсорбция газов / В.М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с.	15
21. Сажин Б.С. Основы техники сушки / Б.С. Сажин. – М.: Химия, 1984. – 320 с.	1
22. Таубман Е.И. Выпаривание / Е.И. Таубман. – М.: Химия, 1982. – 362 с.	6
23. Романков П.Г. Процессы и аппараты химической промышленности / П.Г. Романков, М.И. Курочкина, Ю.Я. Мозжерин, Н.Н. Смирнов. – Л.: Химия, 1989. – 560 с.	14
24. Игнатович Э. Химическая техника. Процессы и аппараты. Пер. с нем. / Э. Игнатович. – М.: Техносфера, 2007. – 656 с.	5
25. Фролов В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии». – 2-е изд, испр. – СПб.: ХИМИЗДАТ,	8

2008. – 608 с.	
26. Процессы и аппараты химической технологии. Явление переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: в 5 т. Т. 1. Основы теории процессов химической технологии / Д. А. Баранов [и др.]: под ред. А. М. Кутепова. – М.: Логос, 2000. – 480 с.	1
27. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: в 5 т. Т. 2. Механические и гидромеханические процессы / Д. А. Баранов [и др.]: под ред. А. М. Кутепова. – М.: Логос, 2002. – 600 с.	1
28. Скобло, А. И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / А. И. Скобло, И. А. Трегубов, Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1982. – 584 с.	12
29. Молоканов, Ю. К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки / Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1987. – 368 с.	1

Технологии обучения

При проведении лекций и практических занятий могут применяться видеопрезентации с помощью мультимедийных средств. На практических занятиях также могут быть применены электронные учебные материалы в виде тестов для текущего контроля знаний, а также письменные контрольные работы.

Диагностика компетенций студентов

Для диагностики сформированности компетенций студентов по дисциплине предусматриваются экзамены. Промежуточный контроль знаний рекомендуется проводить во время практических занятий в виде устного опроса и письменных контрольных работ; во время лабораторных занятий – при допуске к лабораторным работам и их защите.

Рекомендации по организации самостоятельной работы студентов

По дисциплине рекомендуется использовать учебно-методический комплекс с материалами, помогающими студенту в организации самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов предусматривает ознакомление с научной, учебной и справочной литературой, выполнение учебно-исследовательских работ, подготовку к практическим занятиям и зачету, анализ конкретных ситуаций.

Примерный перечень практических занятий

1. Гравитационное осаждение и расчет отстойников.
2. Гидродинамика зернистых материалов.
3. Разделение неоднородных систем в поле центробежных сил.
4. Фильтрация.
5. Перемешивание жидких сред.
6. Тепловые балансы. Перенос тепла теплопроводностью.
7. Теплоотдача при конвективном теплообмене.
8. Расчеты теплообменных аппаратов.
9. Выпаривание.
10. Выражение состава фаз. Равновесие при массопереносе.
11. Расчет коэффициентов массоотдачи и массопередачи.
12. Абсорбция и основы расчетов абсорберов.
13. Перегонка и ректификация. Основы расчетов ректификационных аппаратов.
14. Сушка. Основы расчетов конвективной сушки.
15. Адсорбция. Основы расчета адсорбционных установок.

Тематика лабораторных занятий

1. Исследования гравитационного осаждения твердых частиц.
2. Исследования эффективности и гидравлического сопротивления цик-лона.
3. Исследование гидродинамики псевдоожиженного зернистого слоя и зернистого слоя в состоянии пневмотранспорта.
4. Исследование работы емкостного фильтра с получением констант фильтрования.
5. Исследование работы мешалки с определением потребляемой мощности.
6. Исследование процесса теплообмена в теплообменнике типа «труба в трубе» с определением экспериментального и расчетного теоретического коэффициентов теплопередачи.
7. Исследование процесса нестационарного теплообмена.
8. Исследование процесса выпаривания под вакуумом.
9. Исследование процесса ректификации бинарной смеси.
10. Исследование гидродинамических режимов работы тарельчатых и насадочных массообменных аппаратов и их гидравлического сопротивления.
11. Исследование процесса абсорбции в колонных аппаратах.
12. Исследование процесса периодической адсорбции.
13. Исследование процесса десорбции – регенерации адсорбента.
14. Исследование процесса конвективной сушки в барабанной сушилке
15. Исследование кинетики сушки.

Тематика курсовых работ

Выполненная курсовая работа должна представлять самостоятельно выполненную студентом проектную разработку установки по одной из основных тем дисциплины: например «Рассчитать выпарную установку», «Рассчитать абсорбционную установку», «Рассчитать ректификационную установку», «Рассчитать сушильную установку», охватывая несколько важнейших разделов курса, включая гидравлические, тепловые и оптимизационные расчеты.

Курсовые работы могут выполняться и как научно-исследовательские работы, что дает большие возможности для проявления и использования творческих способностей студентов, ознакомления их с навыками такой работы.

Расчетно-пояснительная записка к курсовой работе включает: обоснование и описание схемы установки; обоснование выбора конструкции аппарата для проведения процесса, описание вспомогательного оборудования, материальные и тепловые балансы процесса, технологический расчет основного аппарата и вспомогательного оборудования.

Темы групповых занятий при выполнении курсовой работы

1. Уточнение задания и исходных данных по проекту, составление графика выполнения проекта.
2. Выбор конструкции основного аппарата и режимов его работы.
3. Критерии оптимизации технических решений. Выбор проектного варианта.
4. Методики технологического расчета оборудования.
5. Чертеж технологической схемы установки.
6. Правила оформления расчетно-пояснительной записки.
7. Защита курсовой работы.

График выполнения курсовых работ с указанием объемов работ

1	Описание основного аппарата и вспомогательного оборудования	2 недели	12 %	Текущий контроль
2	Обоснование и описание установки	2 недели	13 %	
3	Подробный расчет основного аппарата	4 недели	35 %	
4	Подробный расчет и подбор вспомогательного оборудования	3 недели	18 %	
5	Оформление пояснительной записки	1 неделя	7 %	
6	Выполнение графической части	4 недели	15 %	
7	Защита проекта	1 неделя		

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ С ДРУГИМИ
ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Машины и аппараты химических производств	Машины и аппараты химических и силикатных производств		
Термодинамика и теплопередача	Энергосбережения, гидравлики и теплотехники		

Заведующий кафедрой
машины и аппараты химических
и силикатных производств

П.Е.Вайтехович

Заведующий кафедрой
энергосбережения, гидравлики
и теплотехники

А.С.Дмитриченко

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
на ____/____ учебный год

№№ п.п.	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ПиАХП
(протокол № ____ от _____ 201 г.
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

д.т.н., доц.
(степень, звание) (подпись)

А.Э. Левданский
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета ХТиТ

к.т.н., доц.
ние) (подпись)

Ю.А. Климош (степень, звание)
(И.О.Фамилия)