

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

по учебной работе БГТУ

_____ А. А. Сакович

____ 01. ____ 07. ____ 2022 г.

Регистрационный № УД - 2120/уч

Процессы и аппараты химических технологий

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1–25 01 07 Экономика и управление на предприятии
специализаций: 1–25 01 07 24 Экономика и управление
на предприятии химической промышленности;
1–25 01 07 26 Экономика и управление в промышленности
строительных материалов

2022 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1–25 01 07 – 2021, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 09.02.2022 № 24 и учебного плана № 25–1–001/пр-уч., утвержден 31.05.2021.

СОСТАВИТЕЛИ:

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

Д. Г. Калишук, 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:

А. А. Боровик, доцент кафедры физикохимии материалов и производственных технологий учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет», кандидат технических наук, доцент;

В. С. Францкевич, 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 № 11 от 23 июня 2022 г.);

Методической комиссией факультета химической технологии и техники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 10 от 29. 06. 2022 г.);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 8 от 30. 06. 2022 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Процессы и аппараты химических технологий» является фундаментальной при подготовке специалистов экономического профиля для предприятий химической промышленности и промышленности строительных материалов. Она дает возможность приобрести знания о теоретических основах химической технологии, типовых химико-технологических процессах и аппаратах, основах методов их расчета.

Цель преподавания дисциплины и ее задачи

Цель дисциплины – инженерная подготовка экономистов-менеджеров в области наиболее типовых процессов и аппаратов химических технологий для последующей успешной профессиональной деятельности, в первую очередь, при решении вопросов технико-экономического характера.

Задачи дисциплины – обучение студентов теории типовых процессов и аппаратов химических технологий, основам методик их расчета и анализа, в том числе при синтезе технических, инженерных и экономических задач, получение студентами первичных навыков решения конкретных прикладных задач, навыков проектирования аппаратов и установок.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием, ее связи с другими учебными дисциплинами

Для овладения дисциплиной «Процессы и аппараты химических технологий» необходимы знания таких фундаментальных наук, как высшая математика, теоретические основы химии, а также органической химии, информационных технологий.

При последующем обучении студентов материалы дисциплины «Процессы и аппараты химических технологий» в первую очередь будут востребованы при изучении дисциплин «Технология и оборудование синтеза и переработки полимеров», «Технология и оборудование производства минеральных удобрений и солей», «Технология и оборудование основного органического и нефтехимического синтеза», «Технология и оборудование производства керамических изделий», «Технология и оборудование производства стеклянных изделий», «Технология и оборудование производства строительных материалов на основе вяжущих веществ». Также они необходимы при изучении дисциплин «Экономика природопользования», «Безопасность жизнедеятельности человека», «Менеджмент», «Маркетинг», «Логистика», «Организация производства», при прохождении технологической и преддипломной практик, при разработке технологических вопросов в дипломных проектах (работах).

Требования к усвоению учебной дисциплины

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты химических технологий» студент должен:

знать:

– теоретические основы и назначение важнейших технологических процессов, используемых на химических предприятиях и предприятиях смежных отраслей (строительных материалов, фармацевтической, пищевой);

– 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 техно-экономических показателей родственных процессов и аппаратов;

– применять в дальнейшей профессиональной деятельности приобретенные инженерные знания для решения конкретных задач по ценообразованию, логистике, управлению качеством и конкурентоспособности продукции;

– оценивать соответствие поставленным технологическим целям проектных решений;

владеть:

– методами расчета, моделирования и оптимизации процессов и аппаратов химической технологии;

– методами управления и контроля важнейших технологических параметров основных процессов и аппаратов химической технологии;

– умением использовать отраслевую научно-техническую информацию для решения задач устойчивого развития производственных подразделений предприятия (организации), внедрения оптимизированных по технологическим и экономическим параметрам технологий;

– основными способами применения эффективной организации и рационального обслуживания производственных технологических процессов;

– междисциплинарным подходом для решения проблем.

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты химических технологий» формируется следующая специальная компетенция:

СК-29: Понимать сущность методов расчета процессов и аппаратов химических производств.

Вышеперечисленные цели и задачи дисциплины реализуются на лекциях и практических занятиях, а также в ходе самостоятельной работы студентов.

Объем и структура дисциплины. Формы текущей аттестации

Таблица 1 – План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1 – 25 01 07	Экономика и управление на предприятии	2	3	108	3	54	28	-	26	-	-	Зачет

Таблица 1а – План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1 – 25 01 07	Экономика и управление на предприятии	1, 2	2, 3	108	3	12	8	-	4	-	-	Зачет
		1	2	60	-	8	6	-	2			-
		2	3	48	3	4	2	-	2			Зачет

1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

ВВЕДЕНИЕ

Содержание, задачи и роль дисциплины в подготовке экономистов-менеджеров. Связь дисциплины с другими учебными дисциплинами.

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

Основные принципы анализа и моделирования процессов и аппаратов. Основное кинетическое уравнение. Техничко-экономическая оптимизация процессов и аппаратов.

РАЗДЕЛ 1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

Тема 1.1. Основы технической гидравлики

Классификация жидкостей в гидравлике, физические свойства жидкостей и газов и параметры их состояния. Плотность, вязкость. Давление.

Гидростатика. Основное уравнение гидростатики и его практическое применение.

Гидродинамика и ее основные задачи. Характеристики потока жидкости.

Основные уравнения гидродинамики: уравнение движения Эйлера, сплошности потока, Навье – Стокса. Уравнение расхода.

Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкостей. Практическое применение уравнений Бернулли (устройства для измерения расхода и скоростей).

Режимы движения жидкостей. Структура потоков и распределение локальных скоростей по их сечению. Уравнение закона Стокса. Уравнение Пуазейля.

Моделирование процессов и аппаратов. Теория подобия и ее значение в научной инженерной практике. Критерии гидродинамического подобия. Общий вид критериальных уравнений для описания движения потоков и гидромеханических процессов.

Потери давления в трубопроводах, Потери давления на трение и на местных сопротивлениях, их расчет. Расчет гидравлического сопротивления трубопровода. Техничко-экономическое обоснование оптимального диаметра трубопровода.

Тема 1.2. Перемещение жидкостей и газов

Машины для перемещения жидкостей и газов, их классификация и области использования.

Насосы. Их классификация. Основные параметры работы насосов. Определение напора насоса и допустимой высоты всасывания.

Центробежные насосы. Их устройства и принцип действия.

Взаимодействие насоса и трубопроводной сети. Рабочая точка насоса. Основы подбора насосов и оптимизации насосных установок.

Компрессорные машины. Вентиляторы и компрессоры. Конструкции вентиляторов и компрессоров.

Тема 1.3. 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 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 1.4. 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 и газовзвесей.

Фильтрация. Движущая сила процесса и методы ее создания. Классификация механизмов фильтрации, осадков и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрации. Модифицированное уравнение фильтрации при постоянном перепаде давлений, константы фильтрации. Классификация фильтров и их типовые конструкции.

Разделение под действием инерционных сил. Разновидности инерционного разделения. 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.

Мокрая очистка газов. Скрубберы-пылеуловители.

Электрическая очистка газов. Электрофильтры для очистки газов.

Тема 1.5. Перемешивание в жидких средах

Назначение и роль процессов перемешивания. Способы перемешивания. Механическое перемешивание. Конструкции и области применения типовых и современных мешалок. Мощность привода мешалки, ее расчет.

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. Основные теплофизические свойства веществ и материалов. Движущая сила теплообмена.

Перенос тепла теплопроводностью. Температурное поле. Параметры интенсивности переноса тепла (тепловой поток, плотность теплового потока). Дифференциальное уравнение переноса тепла Фурье. Уравнение закона Фурье. Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок при установившемся теплообмене.

Перенос тепла конвекцией. Естественная и вынужденная конвекция. 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.

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

Перенос тепла лучеиспусканием. Сложный теплообмен.

Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи. Взаимосвязь коэффициента теплопередачи с коэффициентами теплоотдачи и тепловой проводимостью стенки. Движущая сила теплопередачи, расчет ее средней величины.

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. Типовые конструкции поверхностных теплообменников (кожухотрубчатые, «труба в трубе» и др.). Смесительные теплообменники. Основные положения теплотехнического расчета поверхностных теплообменников.

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. Классификация выпарных аппаратов, их типовые конструкции. 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.

Способы выражения состава фаз. Равновесие при массообмене, его законы. Движущая сила массообмена. Материальный баланс массообменного процесса (аппарата). Уравнение рабочей линии массообменного процесса (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. Степень изменения концентрации, теоретическая ступень взаимодействия фаз. Эффективность ступени изменения концентрации. Определение высоты аппарата через число ступеней изменения концентрации.

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.

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

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.

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. Сушильные 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. Типовые конструкции конвективных сушилок (барабанная, камерная, кипящего слоя и др.). Пути повышения интенсивности процессов сушки и совершенствования сушилок.

Тема 3.5. Адсорбция, экстракция и растворение

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

Экстракция из растворов и твердых тел, общая характеристика процессов. Аппаратурно-технологическое оформление процесса экстракции.

Растворение твердых тел, его роль и место. Аппаратурно-технологическое оформление процесса растворения.

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

для дневной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		ЛК	ЛЗ	ПЗ		
1	2	3	4	5	6	7
	3 СЕМЕСТР	28	–	26	54	Зачет
	<p>ВВЕДЕНИЕ Содержание, задачи и роль дисциплины в подготовке экономистов-менеджеров. Связь дисциплины с другими учебными дисциплинами. Классификация химико-технологических процессов и аппаратов. Роль совершенствования процессов и аппаратов в научно-техническом прогрессе, решении экономических и экологических проблем. Основные принципы анализа и моделирования процессов и аппаратов. Основное кинетическое уравнение. Техничко-экономическая оптимизация процессов и аппаратов.</p>	–	–	–	2	Зачет
1	ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ	8	–	12	18	
1.1	<p>Тема 1.1. Основы технической гидравлики Классификация жидкостей в гидравлике, физические свойства жидкостей и газов и параметры их состояния. Плотность, вязкость. Давление. Гидростатика. Основное уравнение гидростатики и его практическое применение. Гидродинамика и ее основные задачи. Характеристики потока жидкости. Основные уравнения гидродинамики: уравнение движения Эйлера, сплошности потока, Навье – Стокса. Уравнение расхода. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкостей. Практическое применение уравнений Бернулли (устройства для измерения расхода и скоростей). Режимы движения жидкостей. Структура потоков и распределение локальных скоростей по их сечению. Уравнение закона Стокса. Уравнение Пуазейля.</p>	2	–	4	4	Зачет, ОАПУУЗ, ОПЗ, КРТПЗ, ЭОЛК

1	2	3	4	5	6	7
	<p>Моделирование процессов и аппаратов. Теория подобия и ее значение в научной инженерной практике. Критерии гидродинамического подобия. Общий вид критериальных уравнений для описания движения потоков и гидромеханических процессов.</p> <p>Потери давления в трубопроводах, Потери давления на трение и на местных сопротивлениях, их расчет. Расчет гидравлического сопротивления трубопровода. Технико-экономическое обоснование оптимального диаметра трубопровода.</p>					
1.2	<p>Тема 1.2. Перемещение жидкостей и газов</p> <p>Машины для перемещения жидкостей и газов, их классификация и области использования.</p> <p>Насосы. Их классификация. Основные параметры работы насосов. Определение напора насоса и допустимой высоты всасывания.</p> <p>Центробежные насосы. Их устройства и принцип действия.</p> <p>Взаимодействие насоса и трубопроводной сети. Рабочая точка насоса. Основы подбора насосов и оптимизации насосных установок.</p> <p>Компрессорные машины. Вентиляторы и компрессоры. Конструкции вентиляторов и компрессоров.</p>	2	–	2	4	Зачет, ОАПУУЗ, ОПЗ, КРТПЗ, ЭОЛК
1.3	<p>Тема 1.3. Гидродинамика гетерогенных систем</p> <p>Классификация гетерогенных систем, их роль и место в технологических процессах и окружающей среде.</p> <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 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	–	2	4	Зачет, ОАПУУЗ, ОПЗ, ЭОЛК
1.4	<p>Тема 1.4. Разделение гетерогенных систем</p> <p>Методы разделения гетерогенных систем. Основные критерии выбора метода разделения.</p> <p>Материальный баланс процесса разделения.</p>	2	–	4	4	Зачет, ОАПУУЗ, ОПЗ,

1	2	3	4	5	6	7
	Осаждение под действием сил тяжести (гравитационное). Основные положения расчета отстойников. Типовые конструкции отстойников для разделения суспензий и газовзвесей. Фильтрование. Движущая сила процесса и методы ее создания. Классификация механизмов фильтрования, осадков и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрования. Модифицированное уравнение фильтрования при постоянном перепаде давлений, константы фильтрования. Классификация фильтров и их типовые конструкции. Разделение под действием инерционных сил. Разновидности инерционного разделения. 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. Мокрая очистка газов. Скрубберы-пылеуловители. Электрическая очистка газов. Электрофильтры для очистки газов.					КРТПЗ, ЭОЛК
1.5	Тема 1.5. Перемешивание в жидких средах Назначение и роль процессов перемешивания. Способы перемешивания. Механическое перемешивание. Конструкции и области применения типовых и современных мешалок. Мощность привода мешалки, ее расчет.	–	–	–	2	Зачет
2	ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ	8	–	6	12	
2.1	Тема 2.1. Основы теории теплообмена Роль тепловых процессов в химической промышленности и других сферах деятельности человека. Механизмы переноса тепла, тепловые балансы. Основные теплофизические свойства веществ и материалов. Движущая сила теплообмена. Перенос тепла теплопроводностью. Температурное поле. Параметры интенсивности переноса тепла (тепловой поток, плотность теплового потока). Дифференциальное уравнение переноса тепла Фурье. Уравнение закона Фурье. Теплопроводность плоских и цилиндрических стенок при установившемся теплообмене. Перенос тепла конвекцией. Естественная и вынужденная конвекция. 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.	4 2	–	2	6	Зачет, ОАПУУЗ, ОПЗ, ЭОЛК

1	2	3	4	5	6	7
	Особенности теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителя, при конденсации пара, кипении жидкости. Перенос тепла лучеиспусканием. Сложный теплообмен. Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи. Взаимосвязь коэффициента теплопередачи с коэффициентами теплоотдачи и тепловой проводимостью стенки. Движущая сила теплопередачи, расчет ее средней величины.	2				
2.2	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. Типовые конструкции поверхностных теплообменников (кожухотрубчатые, «труба в трубе» и др.). Смесительные теплообменники. Основные положения теплотехнического расчета поверхностных теплообменников.	2	–	2	3	Зачет
2.3	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. Классификация выпарных аппаратов, их типовые конструкции. Порядок расчета выпарного аппарата.	2	–	2	3	Зачет, ОАПУУЗ, ОПЗ, КРТПЗ, ЭОЛК
3	МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ	12	–	8	22	
3.1	Тема 3.1. Основы массопередачи Общая характеристика и классификация массообменных процессов. Их роль и место в химической промышленности и других сферах деятельности человека. Способы выражения состава фаз. Равновесие при массообмене, его законы. Движущая сила массообмена. Материальный баланс массообменного процесса (аппарата). Уравнение рабочей линии массообменного процесса (аппарата).	4 2	–	2	6	Зачет, ОАПУУЗ, ОПЗ, ЭОЛК

1	2	3	4	5	6	7
	<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> <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. Степень изменения концентрации, теоретическая ступень взаимодействия фаз. Эффективность ступени изменения концентрации. Определение высоты аппарата через число ступеней изменения концентрации.</p>	2				
3.2	<p>Тема 3.2. Абсорбция</p> <p>Общие сведения об абсорбции, ее роль и место в химической и смежных технологиях. 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.</p> <p>Классификация абсорберов. Типовые конструкции абсорберов (распылительные, насадочные, тарельчатые и др.). Порядок расчета абсорбера.</p>	2	–	2	4	Зачет, ОАПУУЗ, ОПЗ, ЭОЛК
3.3	<p>Тема 3.3. Перегонка и ректификация</p> <p>Общая характеристика процессов, их место и роль в химической и смежных технологиях. 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.</p>	2	–	2	4	Зачет, ОАПУУЗ, ОПЗ, ЭОЛК

1	2	3	4	5	6	7
	Оптимизация размеров ректификационного аппарата и энергопотребления ректификационной установки. Порядок расчета ректификационной колонны и установки.					
3.4	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. Типовые конструкции конвективных сушилок (барабанная, камерная, кипящего слоя и др.). Пути повышения интенсивности процессов сушки и совершенствования сушилок.	2	–	2	4	Зачет, ОАПУУЗ, ОПЗ, КРТПЗ, ЭОЛК
3.5	Тема 3.5. Адсорбция, экстракция и растворение Общая характеристика процесса, его роль и место в технологиях. Современные адсорбенты. Материальный баланс адсорбции. Типовые конструкции адсорберов. Пути и методы повышения эффективности адсорбционных установок.	2	–	–	4	Зачет
ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ		28	–	26	54	

Примечание Сокращения в графе «Форма контроля знаний» расшифровываются: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой; ОПЗ – опрос на практических занятиях; КРТПЗ – контрольные работы и тестирование на практических занятиях; ЭОЛК – экспресс-опрос на лекциях.

2а. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

(заочная форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Форма контроля знаний
		ЛК	ЛЗ	ПЗ	
1	2	3	4	5	7
2 СЕМЕСТР		6	–	2	
1	ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ	4	–	1	Зачет, ОАПУУЗ
1.1	АППАРАТЫ				
1.2	Основы технической гидравлики	1			
1.3	Перемещение жидкостей и газов	1		0,5	
1.4	Гидродинамика гетерогенных систем	1			
	Гидромеханическое разделение гетерогенных систем	1		0,5	
2	ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ	2		1	Зачет, ОАПУУЗ
2.1	Основы теории теплообмена	1		0,5	
2.2	Теплообменные аппараты и промышленные способы использования тепла				
2.3	Теплообменные аппараты и промышленные способы использования тепла	0,5			
2.4	Выпаривание	0,5		0,5	
3 СЕМЕСТР		2	–	2	
3	МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ	2		2	Зачет, ОАПУУЗ
3.1	Основы массопередачи	0,5		0,5	
3.2	Абсорбция	0,5		0,5	
3.3	Перегонка и ректификация	0,5		0,5	
3.4	Термическая сушка	0,5		0,5	
ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ		8	–	4	

Примечания. Сокращение в графе «Форма контроля знаний» расшифровывается: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой.

В 3-ом семестре зачет включает материал по разделам: 1 «ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ», 2 «ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ» и 3 «МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ».

3. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Перечень литературы

Основная

1. Саевич, Н. П. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Процессы и аппараты химических технологий»: Регистрационное свидетельство № 1141816393 от 03.08.2018 г. Владелец: УО «Белорусский государственный технологический университет» / Н. П. Саевич, Д. Г. Калишук, А. Э. Левданский. [Электронный ресурс] – Минск, 2018. – Режим доступа: <https://www.belstu.by/faculties/htit/piahp/umk.html>.

2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2005. – 751 с.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. Вилькоцкий А. И., Саевич Н. П., Войтов И. В., Сосновский Т. Р., Боровик А. А. Процессы и аппараты химической технологии. Техническая гидравлика: учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по направлению «Химическая промышленность» / А. И. Вилькоцкий [и др.]; под ред. И. В. Войтова, Т. Р. Сосновского. – Минск: БГТУ, 2021. – 400 с.

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.

8. Калишук, Д.Г. Процессы и аппараты химической технологии: учеб.-метод. пособие для студентов спец. 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

9. 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

10. 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.

11. Процессы и аппараты химической технологии. Массообменные процессы. Сборник примеров и задач/И. В. Войтов [и др.]. – Минск, БГТУ, 2017. – 509 с.

Дополнительная

12. Гельперин, Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н. И. Гельперин. – М.: Химия, 1981. – 812 с
13. Плановский, А. Н. Процессы и аппараты химической технологии / А. Н. Плановский, В. М. Рамм, С. З. Каган. – М.: Химия, 1968 – 847 с.
14. Айнштейн, В.Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2-х кн. / В. Г. Айнштейн [и др.]; Под ред. В. Г. Айнштейна. – М.: Логос; Высшая школа, 2002. – 912+872 с.
15. Фролов, В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»/В. Ф. Фролов – 2-е изд, испр. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 608 с.
16. 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.
17. 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.
18. Романков, П. Г. Процессы и аппараты химической промышленности / П. Г. Романков [и др.] – Л.: Химия, 1989. – 560 с
19. Игнатович, Э. Химическая техника. Процессы и аппараты. Пер. с нем. / Э. Игнатович. – М.: Техносфера, 2007. – 656 с
20. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев.– М.: Химия, 1987. – 496 с.
21. Скобло, А. И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / А. И. Скобло, И. А. Трегубов, Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1982. – 584 с.
22. 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.
23. 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.
24. Справочник химика. Т. 5. Под ред. Никольского. – М.–Л.: Химия, 1966. – 976 с.
25. Перри, Дж. Справочник инженера-химика. Пер. с англ. В 2-х кн./ Дж. Перри. – Л.: Химия, 1969. – 640 + 504 с.

3.2. Перечень и тематика практических занятий

Тематика практических занятий формируется в соответствии с последовательностью изложения лекционного материала и охватывает при этом основные разделы и темы дисциплины. На практических занятиях проводится

расчеты статики и кинетики процессов, а также конструктивных параметров аппаратов, преобретается опыт работы с нормативной документацией по подбору стандартного оборудования. На всех практических занятиях каждому студенту выдается индивидуальное задание с целью его самостоятельной работы и закрепления навыков самостоятельно принимать решения. Примерный перечень тем практических занятий приведен ниже.

1. Свойства газов и жидкостей и параметры их состояния. Основы прикладной гидростатики.
2. Практическое приложение основных уравнений гидродинамики (расхода, неразрывности потока, Бернулли).
3. Гидравлическое сопротивление трубопроводов.
4. Подбор насосов и компрессорных машин.
5. Гидродинамика гетерогенных систем.
6. Разделение гетерогенных систем.
7. Основы теории теплообмена.
8. Основы расчета поверхностных теплообменников.
9. Выпаривание.
10. Основы массопередачи.
11. Абсорбция и основы расчетов абсорберов.
12. Перегонка и ректификация. Основы расчета ректификационных аппаратов.
13. Сушка. Основы расчета конвективных сушилок.

3.3. Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности

Для диагностики результатов учебной деятельности используются:

- отчеты по аудиторным практическим упражнениям (задачам) с их устной защитой (ОАПУУЗ);
- зачет.

Текущий контроль уровня знаний и компетенций и их приращения может также осуществляться в виде опросов на практических занятиях (ОПЗ). В необходимых случаях на практических занятиях могут проводиться контрольные работы и тестирование (КРТПЗ). Допускается экспресс-опрос студентов во время лекций (ЭОЛК).

В ходе 3-го семестра проводятся две межсессионные аттестации студентов. Отметки по межсессионной аттестации выставляются студентам по итогам отчетов по аудиторным практическим упражнениям (задачам) с их устной защитой. При этом также могут учитываться результаты контрольных работ и тестирования (при их наличии).

3.4. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающимися по учебной дисциплине

При изучении дисциплины используется электронный учебно-методический комплекс с материалами, помогающими студенту в организа-

ции самостоятельной работы. Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по дисциплине «Процессы и аппараты химических технологий» размещен на сайте Белорусского государственного технологического университета на странице кафедры процессов и аппаратов химических производств.

Самостоятельная работа студентов предусматривает ознакомление с научной, учебной и справочной литературой, ее изучение, выполнение учебно-исследовательских работ, подготовку к практическим занятиям и зачету, анализ конкретных ситуаций. Целям улучшения организации самостоятельной работы студентов служат регулярные консультации, которые лекторы проводят в течение 3-го семестра.

При самостоятельной работе студент должен руководствоваться ЭУМК. Он обязан изучить учебный материал дисциплины в соответствии с разделом программы «Содержание учебного материала». Ответы практически на все вопросы раздела содержатся в учебнике: *Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2005. – 751 с.* Также эти ответы можно найти в электронном конспекте лекций по дисциплине (см. ЭУМК).

При подготовке с целью приобретения навыков самостоятельных расчетов типовых процессов и аппаратов студенту следует изучить рекомендации к данным расчетам, содержащиеся в одном из пособий: *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.; 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.*

Рекомендуется выполнить по узловым темам дисциплины контрольные задачи, содержащиеся в поименованных выше пособиях.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Технология и оборудование производства минеральных удобрений и солей	Кафедра технологии неорганических веществ и общей химической технологии		
Технология и оборудование производства строительных материалов на основе вяжущих веществ	Кафедра химической технологии вяжущих материалов		

Заведующий кафедрой
экономики и управления
на предприятиях
кандидат технических наук, доцент

А. В. Ледницкий

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на 2023/2024 учебный год**

№№ п.п.	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
процессов и аппаратов химических производств

(название кафедры)

(протокол № _____ от _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой ПиАХП

д.т.н., доц.
(ученая степень, ученое звание)

(подпись)

А.Э. Левданский
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета ИЭ

к.э.н., доц.
(ученая степень, ученое звание)

(подпись)

А.Б. Ольферович
(И.О.Фамилия)