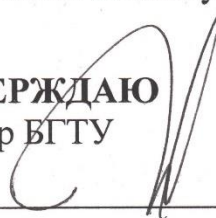


Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Ректор БГТУ



И. В. Войтов

30. 12. 2024 г.

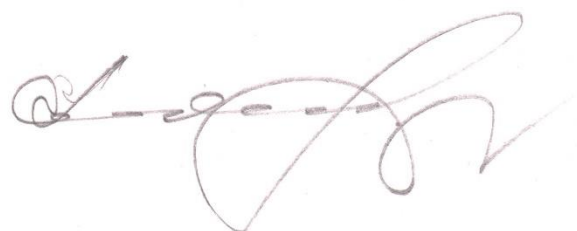
Регистрационный № УД - 2961/уч

### **Процессы и аппараты химической технологии**

Учебная программа учреждения образования  
по учебной дисциплине для специальностей:

- 6-05-0711-01 Технология неорганических веществ;**
- 6-05-0711-05 Технология стекла, керамики и вяжущих материалов;**
- 6-05-0711-06 Электрохимические производства;**
- 6-05-0711-07 Производство материалов и устройств электроники**

2024 г.



Учебная программа составлена на основе образовательных стандартов высшего образования ОСВО 6-05-0711-01-2023, ОСВО 6-05-0711-05-2023 и ОСВО 6-05-0711-06-2023 (утверждены и введены в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 10.08.2023 № 257), ОСВО 6-05-0711-07-2023 (утвержден и введен в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 10.08.2023 № 246) и учебных планов N 05-071-005/уч., N 05-071-001/уч., N 05-071-006/уч., N 05-071-007/уч. и N 05-071-014/уч., утвержденных 28.04.2023.

### **СОСТАВИТЕЛИ:**

Д. Г. Калишук, доцент кафедры процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук, доцент

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

### **РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Ю. И. Шалухо, заместитель директора – главный инженер ОАО «Крион»;

В. И. Володин, профессор кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», доктор технических наук, доцент

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой процессов и аппаратов химических производств учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 3 от 22 ноября 2024 г.);

Методической комиссией факультета химической технологии и техники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 3 от 28.11.2024 г.);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 3 от 30.12.2024 г.)

## **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

Дисциплина «Процессы и аппараты химической технологии» входит в модуль «Химическая инженерия 1» и является фундаментальной при подготовке специалистов химико-технологического профиля для предприятий, организаций и учреждений химической и смежных отраслей промышленности.

### **Цель преподавания дисциплины и ее задачи**

Цель дисциплины – подготовка специалистов со степенью бакалавра и квалификацией «Инженер. Химик-технолог» для последующей успешной профессиональной деятельности за счет приобретения знаний в области теоретических основ химической технологии, типовых химико-технологических процессов и аппаратов, методов управления ими и их моделирования, проектирования и оптимизации, методик их расчётов. Указанные знания в первую очередь необходимы для понимания и решения вопросов технологического и организационного характера.

Задачи дисциплины – обучение студентов специальностей 6–05–0711–01 «Технология неорганических веществ», 6–05–0711–05 «Технология стекла, керамики и вяжущих материалов», 6–05–0711–06 «Электрохимические производства» и 6–05–0711–07 «Производство материалов и устройств электроники» теории типовых химико-технологических процессов и аппаратов, методам их моделирования, проектирования, анализа и оптимизации, методикам расчётов, а также основам управления процессами, установками и аппаратами. При выполнении данных задач студенты приобретают навыки выполнения конкретных прикладных задач, применения методов анализа и синтеза на базе общенаучных, специальных инженерных и экономических знаний.

Вышеперечисленные цели и задачи дисциплины реализуются на лекциях, практических и лабораторных занятиях. Завершающей стадией изучения дисциплины является выполнение курсового проекта. Оно преследует цель закрепить у студентов полученные знания по практическому расчету и технологическому проектированию аппаратов и установок.

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

Дисциплина «Процессы и аппараты химической технологии», изучаемая при подготовке специалистов квалификации «Инженер. Химик-технолог» по специальностям 6–05–0711–01 «Технология неорганических веществ», 6–05–0711–05 «Технология стекла, керамики и вяжущих материалов», 6–05–0711–06 «Электрохимические производства» и 6–05–0711–07 «Производство материалов и устройств электроники», по своему содержанию является специальной инженерной и входит в модуль «Химическая инженерия 1». По существу для студентов указанной специальности данная дисциплина является фундаментальной общеинженерной. Она дает возможность приобрести знания о теоретических основах химической технологии, типовых химико-технологических процессах и аппаратах, основах методов их расчета, оптимизации, мо-

делирования, проектирования и управления. Теоретические и практические основы дисциплины связаны с анализом, математическим описанием различных явлений, решением прикладных задач, расчетом и моделированием процессов и аппаратов химической технологии.

Для овладения дисциплиной «Процессы и аппараты химической технологии» необходимы знания таких дисциплин, как «Высшая математика», «Физика», «Теоретические основы химии», «Неорганическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Поверхностные явления и дисперсные системы», «Прикладная механика», «Информатика», «Инженерная и машинная графика», «Теплотехника».

При последующем обучении студентов специальностей 6–05–0711–01 «Технология неорганических веществ», 6–05–0711–05 «Технология стекла, керамики и вяжущих материалов», 6–05–0711–06 «Электрохимические производства» и 6–05–0711–07 «Производство материалов и устройств электроники» учебные материалы дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» будут востребованы при изучении дисциплин «Общая химическая технология», «Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов в отрасли», «Автоматизация химических производств», «Оборудование и проектирование предприятий отрасли» (для специальности 6–05–0711–06 – «Оборудование и проектирование предприятий электрохимических производств»). Также знание дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» будут востребованы: студентами специальности 6–05–0711–01 «Технология неорганических веществ» при изучении дисциплин модулей «Основные технологии неорганических веществ» и «Технология минеральных удобрений»; студентами специальности 6–05–0711–05 «Технология стекла, керамики и вяжущих материалов» при изучении дисциплины «Тепловые процессы в технологии силикатных материалов» и дисциплин модулей «Основные процессы технологии стекла», «Основные процессы технологии керамики», «Основные процессы химической технологии вяжущих материалов», «Технология производства материалов и изделий из стекла», «Технология производства материалов и изделий из керамики» и «Технология производства строительных материалов на основе вяжущих веществ»; студентами специальности 6–05–0711–06 «Электрохимические производства» при изучении дисциплин модулей «Прикладная электрохимия» и «Технологии электрохимических производств»; студентами специальности 6–05–0711–07 «Производство материалов и устройств электроники» при изучении дисциплин модулей «Техника и оборудование предприятий» и «Технология изделий электроники». Кроме того знания процессов и аппаратов химической технологии необходимы при прохождении общеинженерной, производственных технологической и преддипломной практик, при сдаче государственного экзамена по специальности, при анализе и разработке технологических вопросов в дипломных проектах (работах) и их защите.

## Требования к освоению учебной дисциплины

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

### **знать:**

- теоретические основы и назначение важнейших технологических процессов, используемых в химической и смежных с ней отраслях промышленности;
- устройство и принципы работы основных аппаратов и установок для проведения химических технологических процессов;
- современные технологии и аппараты для осуществления химико-технологических процессов;
- основные методы моделирования, расчета и оптимизации процессов и аппаратов;
- пути и способы технического усовершенствования действующих установок и аппаратов с целью повышения их производительности и технико-экономических показателей;
- пути совершенствования вновь разрабатываемых химических технологий и техники;

### **уметь:**

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- решать конкретные инженерно-технологические задачи путем анализа, расчета, моделирования и оптимизации процессов и аппаратов, а также проводить исследования, обработку экспериментальных данных и использовать результаты научно-исследовательских работ для обновления и усовершенствования технологических линий;
- рационально организовывать технологическую последовательность переработки сырья получения готового продукта;
- профессионально обращаться с технологическими аппаратами при строгом соблюдении правил безопасности проведения процессов;
- анализировать закономерности протекания основных процессов;
- оценивать соответствие проектных решений поставленным технологическим целям;
- уметь осуществлять комплексный подход к решению технологических проблем;
- уметь применять энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии;

### **иметь навыки:**

- моделирования и оптимизации процессов и аппаратов химической технологии;
- управления и контроля важнейших технологических параметров основных процессов и аппаратов химической технологии;

– пересчета результатов экспериментальных исследований в применении к промышленным процессам и аппаратам;

– использования отраслевой научно-технической информации для решения задач устойчивого развития производственных подразделений предприятия (организации), выпуска качественной конкурентноспособной и экологически безопасной продукции, внедрения оптимизированных по технологическим и экономическим параметрам технологий;

– применения основных способов эффективной организации и рационального обслуживания производственных технологических процессов;

– междисциплинарного подхода для решения проблем.

В результате изучения дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» формируются следующие компетенции:

базовая профессиональная: рассчитывать типовые процессы и аппараты химических производств;

универсальные:

- владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;

- быть способным к самообразованию и совершенствованию в профессиональной деятельности;

- проявлять инициативу и адаптироваться в профессиональной деятельности.

В рамках образовательного процесса по данной учебной дисциплине студент должен приобрести не только теоретические и практические знания, умения и навыки по специальности, но и развить свой ценностно-личный, духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны.

**План учебной дисциплины для очной (дневной) формы  
получения высшего образования для специальностей  
6–05–0711–01 «Технология неорганических веществ»,  
6–05–0711–05 «Технология стекла, керамики и вяжущих материалов»,  
6–05–0711–06 «Электрохимические производства»,  
6–05–0711–07 «Производство материалов и устройств электроники»**

Код специальности	Наименование специальности	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект	Форма промежуточной аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
6–05–0711–01	Технология неорганических веществ	2	4	216	6	108	36	54	18	-	=	Экзамен
		3	5	108	3	72	36	18	18	-	-	Экзамен
		3	6	-	1	-	-	-	-	-	40	Защита курс. проекта
6–05–0711–05	Технология стекла, керамики и вяжущих материалов	2	4	180	5	108	36	54	18	-	-	Зачет
		3	5	108	3	72	36	18	18	-	-	Экзамен
		3	6	-	1	-	-	-	-	-	40	Защита курс. проекта
6–05–0711–06	Электрохимические производства	2	4	216	6	108	36	54	18	-	-	Экзамен
		3	5	108	3	72	36	18	18	-	40	Экзамен, защита курс. проекта
6–05–0711–07	Производство материалов и устройств электроники	2	4	216	6	108	36	54	18	-	-	Зачет
		3	5	108	4	72	36	18	18	-	40	Экзамен, защита курс. проекта

**План учебной дисциплины для заочной полной формы  
получения высшего образования для специальности  
6–05–0711–05 Технология стекла, керамики и вяжущих материалов**

Код специальности	Наименование специальности	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект	Форма промежуточной аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
6-05-0711-05	Технология стекла, керамики и вяжущих материалов	3	5	-	-	4	4	-	-	-	-	-
		3	6	108	3	12	6	6	-	-	-	Зачёт
		4	7	180	5	26	10	8	8	-	-	Экзамен
		4	8	-	1	-	-	-	-	-	40	Защита курс. проекта

**План учебной дисциплины\*** для заочной сокращённой формы  
получения высшего образования, интегрированного со средним  
специальным образованием, для специальностей:  
**6-05-0711-01 Технология неорганических веществ;**  
**6-05-0711-05 Технология стекла, керамики и вяжущих материалов**

Код 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 промежуточной аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
6-05-0711-01	Технология неорганических веществ	2	3	-	-	2	2	-	-	-	-	-
		2	4	72	2	12	6	6	-	-	-	Экзамен
		3	5	90	3	6	2	-	4	-	-	Экзамен
		3	6	-	1	-	-	-	-	-	-	Защита курс. проекта
6-05-0711-05	Технология стекла, керамики и вяжущих материалов	2	3	-	-	2	2	-	-	-	-	-
		2	4	72	2	12	6	6	-	-	-	Зачет
		3	5	72	2	6	2	-	4	-	-	Экзамен
		3	6	-	1	-	-	-	-	-	40	Защита курс. проекта

\*-Интегрируется с учебной дисциплиной «Процессы и аппараты химического производства» уровня ССО.

Из типовых программ уровня ССО перезачтены темы: «Перемешивание в жидких средах»; «Источники энергии (промышленные теплоносители и методы их использования)»; «Адсорбция (адсорбция и ионный обмен)»; «Экстракция (жидкостная экстракция)»; «Кристаллизация»; «Измельчение твердых материалов»; «Классификация и сортировка твердых материалов».

## 1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### ВВЕДЕНИЕ

Содержание, задачи и роль дисциплины в подготовке бакалавров с квалификацией «Инженер. Химик-технолог».

Классификация химико-технологических процессов и аппаратов.

Общие принципы расчета, анализа и моделирования процессов и аппаратов. Материальные и энергетические балансы. Движущая сила процессов переноса. Основной кинетический закон явлений переноса.

### РАЗДЕЛ 1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

#### *Тема 1.1. Основы технической гидравлики*

Физические свойства жидкостей и газов и параметры их состояния. Классификация жидкостей в гидравлике.

Гидростатика. Дифференциальное уравнение равновесия Эйлера. Основное уравнение гидростатики и его практическое применение.

Гидродинамика однофазных потоков. Характеристики потока жидкости. Уравнения массового и объемного расходов. Фундаментальные уравнения гидродинамики: дифференциальное уравнение движения Эйлера; неразрывности потока; Навье – Стокса. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкостей. Практическое применение уравнений Бернулли (устройства для измерения расхода жидкости, давлений и скоростей). Режимы движения жидкостей. Структура потоков, распределение локальных скоростей в них.

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

Потери давления в трубопроводах и аппаратах. Потери давления на трение и на местных сопротивлениях, их расчет. Расчет гидравлического сопротивления трубопровода. Обоснование оптимального диаметра трубопровода.

#### *Тема 1.2. Перемещение жидкостей и газов*

Машины для перемещения жидкостей и газов, их классификация.

Насосы. Их классификация. Основные параметры работы насосов.

Определение напора и допустимой высоты всасывания насоса.

Центробежные насосы. Их устройство и принцип действия. Взаимодействие насоса и трубопроводной сети, рабочая точка насоса.

Типовые и современные конструкции насосов (поршневые, пластинчатые, осевые и др.), их принцип действия и применение.

Компрессорные машины. Их классификация. Радиальные и осевые вентиляторы. Поршневые компрессоры и особенности их работы. Мощность, потребляемая компрессором. Турбокомпрессоры. Вакуумные насосы.

#### *Тема 1.3. Гидродинамика гетерогенных систем.*

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

Движение тел в жидкости. Расчет сил сопротивления при движении тела в жидкости. Методы расчета скорости гравитационного осаждения в условиях динамического равновесия.

Характеристики слоя зернистого материала. Движение потока через зернистый слой. Состояния зернистого слоя (неподвижное, псевдооживленное, уноса). Гидравлическое сопротивление неподвижного и псевдооживленного зернистых слоев. Расчет основных параметров псевдооживленного зернистого слоя. Пневмо- и гидротранспорт материалов.

Методы диспергирования жидкостей и газов и устройства для осуществления процессов (форсунки, распылители, барботеры, сопла).

#### ***Тема 1.4. Гидромеханическое разделение гетерогенных систем***

Методы разделения гетерогенных систем. Основные критерии выбора метода разделения. Материальный баланс процесса разделения.

Осаждение под действием сил тяжести. Основные положения расчета отстойников. Типовые и современные конструкции отстойников.

Фильтрация. Движущая сила процесса. Механизмы фильтрации. Классификация осадков и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрации. Уравнение фильтрации при постоянном перепаде давлений, константы фильтрации. Классификация фильтров, их типовые и современные конструкции. Основы расчета фильтров.

Разделение под действием инерционных сил. Центробежный фактор разделения. Циклоны для очистки газов и гидроциклоны. Центрифуги, их классификация и области применения. Конструкции фильтрующих и осадительных центрифуг.

Тонкая очистка газов. Мокрая очистка газов. Конструкции скрубберов-пылеуловителей.

Электрическая очистка газов. Конструкции электрофильтров.

#### ***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.

Механизмы переноса тепла. Тепловые балансы.

Перенос тепла теплопроводностью. 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-Кирхгофа). Уравнение теплоотдачи.

Тепловое подобие. 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. Лучистый и 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. Промышленные теплоносители и методы их использования***

Классификация теплоносителей и требования, предъявляемые к ним.

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.

### ***Тема 2.3. Теплообменные аппараты***

Классификация теплообменных аппаратов.

Типовые конструкции поверхностных теплообменников (кожухотрубчатые, «труба в трубе», пластинчатые и др.). Смесительные теплообменники. Современные и перспективные теплообменные аппараты.

Интенсификация теплообмена в аппаратах. Выбор теплообменников. Основные положения расчета поверхностных теплообменников.

### ***Тема 2.4. Выпаривание***

Сущность процесса выпаривания, его значение и методы осуществления. Материальный баланс процесса. Определение температуры кипения раствора, депрессии. Тепловой баланс выпарного аппарата. Полезная разность температур при выпаривании. Порядок расчета выпарного аппарата.

Одно- и многокорпусные выпарные установки. Обоснование числа корпусов выпарной установки.

Классификация выпарных аппаратов, их типовые и современные конструкции.

## **РАЗДЕЛ 3. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ**

### ***Тема 3.1. Основы массопередачи***

Общая характеристика и классификация массообменных процессов. Их роль и место в химической промышленности.

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

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

Уравнение массоотдачи. Основные критерии 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. Определение высоты аппарата через число и высоту единиц переноса. Степень изменения концентрации, теоретическая степень взаимодействия фаз. Эффективность ступени изменения концентрации. Определение высоты аппарата через число ступеней изменения концентрации.

### ***Тема 3.2. Абсорбция***

Общие сведения об абсорбции, ее роль в химической технологии. Равновесие при абсорбции. Десорбция, ее роль и методы осуществления. Материальный баланс абсорбера и его рабочая линия. Обоснование рабочего расхода абсорбента и размеров абсорбера. Принципиальные схемы абсорбционно-десорбционных установок.

Классификация абсорберов. Типовые и современные конструкции абсорберов (распылительные, насадочные, тарельчатые и др.). Виды насадок, их характеристики и выбор. Конструкции массообменных тарелок для абсорбционных аппаратов. Порядок расчета абсорбера.

### ***Тема 3.3. Перегонка и ректификация***

Общая характеристика процессов, их место в химической технологии. Равновесие в системе пар – жидкость.

Простая перегонка. Ее материальный баланс.

Ректификация. Установка для непрерывной ректификации бинарной смеси. Материальный баланс непрерывной бинарной ректификации. Уравнения рабочих линий бинарной ректификации. Основные уравнения теплового баланса ректификационной установки. Расчет минимального и обоснование рабочего флегмовых чисел. Конструкции ректификационных колонн. Специальные виды ректификации и установки для их проведения. Порядок расчета ректификационной колонны и установки.

### ***Тема 3.4. Термическая сушка***

Общая характеристика процесса, его роль.

Формы связи влаги с материалом. Методы сушки и обоснование способов удаления влаги из материалов.

Конвективная сушка. Сушильные агенты и их выбор. Параметры сушильного агента,  $I$ - $x$ -диаграмма влажного воздуха. Механизмы переноса влаги при сушке, кинетика процесса. Материальный и тепловой балансы конвективной сушилки. Теоретическая и действительная сушилки. Последовательность расчета конвективной сушилки.

Классификация сушилок и сушильных установок. Типовые и современные конструкции конвективных сушилок (барабанная, кипящего слоя и др.). Специальные сушилки (радиационные, контактные, сублимационные). Пути совершенствования сушилок.

### ***Тема 3.5. Адсорбция и ионный обмен***

Общие сведения о процессе и областях его применения. Основные промышленные адсорбенты, их структура и свойства. Равновесие при адсорбции. Десорбция и способы ее проведения. Конструкции адсорберов.

### ***Тема 3.6. Жидкостная экстракция***

Общие сведения о процессе и его применении. Методы жидкостной экстракции. Основные схемы проведения экстракции. Классификация экстракторов, их конструкции (колонные гравитационные, ступенчатые и др.).

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

Общие сведения о процессах. Экстрагирование жидкого вещества из твердого тела. Экстрагирование твердого вещества. Способы экстрагирования и растворения. Конструкции экстракторов и растворителей.

### ***Тема 3.8. Кристаллизация из растворов и расплавов***

Общие сведения о процессах и их применении. Кристаллизация из растворов. Классификация кристаллизаторов и их конструкции

### ***Тема 3.9. Мембранные процессы***

Общие сведения о процессах и областях их применения. Классификация и характеристика мембранных процессов (баромембранных, диффузионно-мембранных, электромембранных, ультра- и микрофльтрации) и мембран.

## **РАЗДЕЛ 4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

### ***Тема 4.1. Измельчение твердых материалов***

Теории измельчения. Методы измельчения. Степень измельчения. Методы помола. Классификация машин для измельчения. Основные конструкции дробилок (щековые, конусные, валковые, молотковые) и мельниц (барабанные шаровые, стержневые и трубчатые, вибрационные, струйные и коллоидные).

### ***Тема 4.2. Классификации и сортировка твердых материалов***

Грохочение. Конструкции грохотов. Пневматические и гидравлические классификаторы.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Целями и задачами курсового проекта по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» являются:

- закрепление теоретических знаний, полученных студентом на лекциях и в процессе самостоятельной работы с литературой и другими источниками информации;

- углубление знаний по отдельным темам и теоретическим и прикладным вопросам процессов и аппаратов производства медицинских препаратов и смежных производств;

- выработка навыков углубленной самостоятельной работы с литературой и иными источниками информации, в том числе, с каталогами, стандартами, специальными справочниками;

- приобретения навыков выполнения технологических и конструктивных расчетов аппаратов и установок с выбором и элементами оптимизации режимов их работы, разработки технологических схем установок;

- приобретение навыков выполнения чертежей общего вида отраслевого оборудования и чертежей технологических схем типовых установок;

- приобретение навыков самостоятельно принимать технологические и конструкторские решения;

- подготовка студентов к дальнейшему специальному обучению, производственным практикам и дипломному проектированию.

Основная масса курсовых проектов, выполняемых студентами, должна представлять самостоятельные проектные разработки по одной из типовых тем дисциплины. Отдельные курсовые проекты могут выполняться в виде научно-исследовательской работы.

Типовая тема курсового проекта предусматривает разработку (технологическое проектирование) одной из наиболее применяемой в химических производствах технологических установок (абсорбционной, выпарной, ректификационной или сушильной). В целом проект охватывает несколько разделов дисциплины, т.к. установка, как правило, включает в свой состав массообменное, теплообменное и гидромеханическое оборудование. Для основного аппарата установки выполняются подробные технологические и конструктивные расчеты. Для вспомогательной аппаратуры выполняются ориентировочные технологические расчеты. Для всего комплекса аппаратуры при необходимости осуществляется подбор его по каталогам, стандартам, альбомам типовых конструкций, справочникам. При выполнении курсового проекта используются знания, полученные студентом при изучении других дисциплин, в первую очередь таких как «Высшая математика», «Физика», «Теоретические основы химии», «Физическая химия», «Поверхностные явления и дисперсные системы», «Прикладная механика», «Информатика», «Инженерная и машинная графика».

Пояснительная записка курсового проекта по типовой тематике должна содержать следующие основные разделы:

- описание и обоснование технологической схемы установки;

- описание конструкции и принципа действия основного аппарата;

- описание вспомогательного оборудования установки;
- подробный технологический расчет основного аппарата установки;
- подбор вспомогательного оборудования установки.

Пояснительная записка может быть дополнена разделом по заданию руководителя проекта.

Графическая часть курсового проекта по типовой тематике включает:

- чертеж технологической схемы установки, один лист формата А1;
- чертеж общего вида основного аппарата (абсорбера, выпарного аппарата, сушилки или ректификационной колонны), один лист формата А1.

Как указано ранее, отдельные курсовые проекты могут иметь научно-исследовательский характер. Тематика и содержание таких проектов в каждом случае имеют индивидуальный характер, который определяется руководителем. Курсовые проекты научно-исследовательской направленности выполняются либо одним студентом индивидуально, либо несколькими, составляющими творческую группу. Курсовой проект научно-исследовательской направленности, как правило, должен содержать аналитический обзор по разрабатываемой проблеме.

Оформление пояснительной записки регламентируется требованиями, изложенными в «Положении о курсовом проекте (курсовой работе) учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», утвержденным 10 мая 2024 года. Чертежи должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

График выполнения курсовых проектов с указанием примерной трудоемкости этапов представлен в таблице 4.

**Таблица 4 – Примерный график выполнения курсовых проектов**

№№ п.п.	Наименование этапа	Продолжительность этапа	Трудоемкость
1	Подробный расчет основного аппарата	6 недель	40 %
2	Расчет и подбор вспомогательного оборудования	2 недели	15 %
3	Обоснование и описание установки. Описание основного аппарата и вспомогательного оборудования	1 неделя	10 %
4	Оформление пояснительной записки	2 недели	10 %
6	Выполнение графической части	4 недели	25 %
7	Подготовка к защите и защита проекта	2 недели	

В ходе курсового проектирования руководителем проекта и консультантами могут проводиться групповые занятия (групповые консультации) по ниже приведенным темам.

1. Выдача задания. Структура и содержание проекта.
2. Методики расчета и подбора теплообменных аппаратов.
3. Методики расчета и подбора абсорберов и ректификационных колонн.

4. Методики расчета и подбора сушилок.
5. Методики расчета и подбора вспомогательного оборудования тепло- и массообменных установок.
6. Требования к оформлению пояснительной записки.
7. Содержание описательных разделов записки.
8. Правила оформления чертежей общего вида.
9. Правила оформления чертежей технологических схем.
10. Порядок подготовки проекта к защите и порядок его защиты.

На курсовое проектирование согласно действующим учебным планам отводится для студентов специальностей 6–05–0711–01 Технология неорганических веществ (очная и заочная сокращённая формы получения высшего образования), 6–05–0711–05 Технология стекла, керамики и вяжущих материалов (очная и заочная полная и сокращённая формы получения высшего образования), 6–05–0711–06 Электрохимические производства (очная форма получения высшего образования) и 6–05–0711–07 Производство материалов и устройств электроники (очная форма получения высшего образования) 40 академических часов.

Примерный перечень типовых тем курсовых проектов.

1. Рассчитать и спроектировать выпарную установку.
2. Рассчитать и спроектировать абсорбционную установку
3. Рассчитать и спроектировать ректификационную установку.
4. Рассчитать и спроектировать сушильную установку.

Несмотря на то, что в перечень входит только четыре темы, реальная тематика заданий по курсовому проекту является очень широкой. Например, выпарные установки могут быть одно- и многокорпусными с различным числом корпусов, могут оснащаться выпарными аппаратами различных типов и конструкций, работать под различным давлением, использоваться для выпаривания различных растворов с различными свойствами и концентрациями, иметь различную производительность и т.д.

Для проведения защиты курсовых проектов на кафедре организуют работу комиссий по защите. В состав каждой комиссии включают двух человек, одним из которых является преподаватель – руководитель проекта. При этом руководитель проекта является председателем комиссии по защите.

### 3.1. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

для очной (дневной) формы получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		ЛК	ЛЗ	ПЗ		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
	<b>4 СЕМЕСТР</b>	<b>36</b>	<b>54</b>	<b>18</b>	<b>108/36</b>	<b>Экзамен*, зачёт**</b>
	<b>ВВЕДЕНИЕ</b> Содержание, задачи дисциплины в подготовке инженеров-химиков-технологов. Классификация процессов и аппаратов. Общие принципы расчета, анализа и моделирования процессов и аппаратов. Основной кинетический закон явлений переноса.	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>3/1</b>	Экзамен*, зачёт**
<b>1</b>	<b>ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>35</b>	<b>54</b>	<b>18</b>	<b>105/35</b>	
<b>1.1</b>	<b>Основы технической гидравлики</b> 1.1.1. Физические свойства жидкостей и газов и параметры их состояния. 1.1.2. Гидростатика. Дифференциальное уравнение равновесия Эйлера. Основное уравнение гидростатики. 1.1.3. Гидродинамика однофазных потоков. Характеристики потока жидкости. Фундаментальные уравнения гидродинамики: Эйлера; неразрывности потока; Навье – Стокса. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкостей. Практическое применение уравнений Бернулли). 1.1.4. Режимы движения жидкостей. Структура потоков, распределение локальных скоростей в них.	<b>14</b> <b>2</b> <b>2</b> <b>4</b> <b>2</b> <b>2</b> <b>2</b> <b>2</b>	<b>18</b> <b>-</b> <b>2</b> <b>2</b> <b>2</b> <b>2</b> <b>2</b> <b>2</b>	<b>8</b> <b>2</b> <b>2</b> <b>2</b> <b>-</b>	<b>40/14</b>	Экзамен*, зачёт**, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

**Примечание 1.** Сокращения в графе «Форма контроля знаний»: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой; ОЛРУЗ – отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

**Примечание 2.** Число в числителе в графе «Количество часов самост. работы» – число часов для студентов спец. 6–05–0711–01, 6–05–0711–06 и 6–05–0711–07; число в знаменателе – число часов для студентов спец. 6–05–0711–05.

**Примечание 3.** Знаком «\*» в графе «Форма контроля знаний» отмечена форма промежуточной аттестации для студентов спец. 6–05–0711–01 и 6–05–0711–06, знаком «\*\*» – форма промежуточной аттестации для студентов спец. 6–05–0711–05 и 6–05–0711–07.

1	2	3	4	5	6	7
1.1	1.1.5. Моделирование процессов и аппаратов. Теория подобия. Теоремы подобия. Критерии гидродинамического подобия. Критериальные уравнения для описания гидромеханических процессов.	2	-	-		
	1.1.6. Потери давления в трубопроводах и аппаратах. Потери давления на трение и на местных сопротивлениях, их расчет. Расчет гидравлического сопротивления трубопровода. Обоснование оптимального диаметра трубопровода.	2	2	2		
1.2	<b>Перемещение жидкостей и газов</b>	6	8	2	20/6	Экзамен*, зачёт**, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
	1.2.1. Машины для перемещения жидкостей и газов. Насосы. Их классификация. Основные параметры работы насосов. Определение напора и допустимой высоты всасывания насоса.	2	-	-		
	1.2.2. Центробежные насосы. Их устройство и принцип действия. Взаимодействие насоса и трубопроводной сети, рабочая точка насоса.	2	2	2		
	1.2.3. Типовые и современные конструкции насосов (поршневые, пластинчатые, осевые и др.), их принцип действия и применение.	1	-	-		
	1.2.4. Компрессорные машины. Их классификация. Радиальные и осевые вентиляторы. Поршневые компрессоры и особенности их работы. Мощность, потребляемая компрессором. Турбокомпрессоры. Вакуумные насосы.	1	2	-		
			2			
1.3	<b>Гидродинамика гетерогенных систем.</b>	6	12	2	20/6	Экзамен*, зачёт**, , собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
	1.3.1. Классификация гетерогенных систем, их роль. Движение тел в жидкости. Расчет силы сопротивления. Методы расчета скорости гравитационного осаждения.	2	2	-		
	1.3.2. Характеристики слоя зернистого материала. Движение потока через зернистый слой. Состояния зернистого слоя (неподвижное, псевдооживленное, уноса). Гидравлическое сопротивление неподвижного и псевдооживленного зернистых слоев. Расчет основных параметров псевдооживленного зернистого слоя. Пневмо- и гидротранспорт материалов.	3	2	2		
	1.3.3. Методы диспергирования жидкостей и газов и устройства для осуществления процессов (форсунки, распылители, барботеры, сопла).	1	-	-		

**Примечание 1.** Сокращения в графе «Форма контроля знаний»: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой; ОЛРУЗ – отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

**Примечание 2.** Число в числителе в графе «Количество часов самост. работы» – число часов для студентов спец. 6–05–0711–01, 6–05–0711–06 и 6–05–0711–07; число в знаменателе – число часов для студентов спец. 6–05–0711–05.

**Примечание 3.** Знаком «\*» в графе «Форма контроля знаний» отмечена форма промежуточной аттестации для студентов спец. 6–05–0711–01 и 6–05–0711–06, знаком «\*\*» – форма промежуточной аттестации для студентов спец. 6–05–0711–05 и 6–05–0711–07.

1	2	3	4	5	6	7
1.4	<p><b>Гидромеханическое разделение гетерогенных систем</b></p> <p>1.4.1. Методы разделения гетерогенных систем. Основные критерии выбора метода разделения. Материальный баланс процесса разделения. Осаждение под действием сил тяжести. Основные положения расчета отстойников. Типовые и современные конструкции отстойников.</p> <p>1.4.2. Фильтрация. Движущая сила процесса. Механизмы фильтрации. Классификация осадков и фильтровальных перегородок. Основное уравнение фильтрации. Уравнение фильтрации при постоянном перепаде давлений, константы фильтрации. Классификация фильтров, их типовые и современные конструкции. Основы расчета фильтров.</p> <p>1.4.3. Разделение под действием инерционных сил. Центробежный фактор разделения. Циклоны для очистки газов и гидроциклоны. Центрифуги, их классификация и области применения. Конструкции фильтрующих и осадительных центрифуг.</p> <p>1.4.4. Тонкая очистка газов. Мокрая очистка газов. Конструкции скрубберов. Электрическая очистка газов. Конструкции электрофильтров.</p>	7 2  2  2  1	12 -  2 2 2  2 2 2  -	4  2  -  -	18/6	Экзамен*, зачёт**, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
1.5	<p><b>Перемешивание в жидких средах</b></p> <p>1.5.1. Назначение и роль процессов перемешивания. Способы перемешивания. Механическое перемешивание. Конструкции и области применения типовых и современных мешалок. Мощность привода мешалки, ее расчет.</p>	2	4	2	7/3	Экзамен*, зачёт**, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

**Примечание 1.** Сокращения в графе «Форма контроля знаний»: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой; ОЛРУЗ – отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

**Примечание 2.** Число в числителе в графе «Количество часов самост. работы» – число часов для студентов спец. 6–05–0711–01, 6–05–0711–06 и 6–05–0711–07; число в знаменателе – число часов для студентов спец. 6–05–0711–05.

**Примечание 3.** Знаком «\*» в графе «Форма контроля знаний» отмечена форма промежуточной аттестации для студентов спец. 6–05–0711–01 и 6–05–0711–06, знаком «\*\*» – форма промежуточной аттестации для студентов спец. 6–05–0711–05 и 6–05–0711–07.

1	2	3	4	5	6	7
	<b>5 СЕМЕСТР</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>Экзамен</b>
<b>2</b>	<b>ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	
<b>2.1</b>	<p><b>Основы теории теплообмена</b></p> <p>2.1.1. Роль тепловых процессов. Механизмы переноса тепла. Тепловые балансы. Перенос тепла теплопроводностью. Уравнение переноса тепла Фурье. Уравнение закона Фурье. Теплопроводность стенок при установившемся теплообмене. Перенос тепла конвекцией. Дифференциальное уравнение конвективного переноса тепла. Уравнение теплоотдачи. Тепловое подобие. Критерии теплового подобия. Общий вид критериальных уравнений для описания теплообмена.</p> <p>2.1.2. Теплоотдача при вынужденной и естественной конвекции без изменения агрегатного состояния теплоносителя, при конденсации пара, кипении жидкости. Лучистый и сложный теплообмен.</p> <p>2.1.3. Теплопередача. Основное уравнение теплопередачи. Взаимосвязь коэффициента теплопередачи с коэффициентами теплоотдачи и тепловой проводимостью стенки. Движущая сила теплопередачи, расчет ее средней величины.</p>	<p><b>6</b></p> <p><b>2</b></p> <p><b>2</b></p> <p><b>2</b></p>	-	<p><b>4</b></p> <p><b>2</b></p> <p><b>2</b></p>	<b>6</b>	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ
<b>2.2</b>	<p><b>Промышленные теплоносители и методы их использования</b></p> <p>2.2.1. Классификация теплоносителей и требования, предъявляемые к ним. 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.</p>	<b>2</b>	-	-	<b>2</b>	Экзамен, собеседование
<b>2.3</b>	<p><b>Теплообменные аппараты</b></p> <p>2.3.1. Классификация теплообменных аппаратов. Типовые конструкции поверхностных теплообменников (кожухотрубчатые, «труба в трубе», пластинчатые и др.). Смесительные теплообменники. Современные и перспективные теплообменные аппараты. Интенсификация теплообмена в аппаратах. Выбор теплообменников. Основные положения теплотехнического расчета поверхностных теплообменников</p>	<b>2</b>	2*** 2*** 2***	<b>2</b>	<b>2</b>	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

**Примечание 1.** Сокращения в графе «Форма контроля знаний»: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой; ОЛРУЗ – отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

**Примечание 2.** Знаком «\*\*\*» в графе «ЛЗ» отмечено следующее: по указанию преподавателя выполняется лабораторная работа либо по теме «2.3. Теплообменные аппараты», либо по теме «2.4. Выпаривание».

1	2	3	4	5	6	7
2.4	<p><b>Выпаривание</b></p> <p>2.4.1. Сущность процесса выпаривания, его значение и методы осуществления. Материальный баланс процесса. Определение температуры кипения раствора, депрессии. Тепловой баланс выпарного аппарата. Полезная разность температур при выпаривании. Порядок расчета выпарного аппарата.</p> <p>2.4.2. Одно- и многокорпусные выпарные установки. Обоснование числа корпусов выпарной установки. Классификация выпарных аппаратов, их типовые и современные конструкции.</p>	4 2  2	2*** 2*** 2***	2 2	4	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
3	<b>МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	20	12	10		
3.1	<p><b>Основы массопередачи</b></p> <p>3.1.1. Общая характеристика и классификация массообменных процессов. Их роль и место в химической промышленности. Способы выражения состава фаз. Равновесие при массообмене. Материальный баланс массообменного процесса (аппарата). Уравнение рабочей линии массообменного процесса (аппарата). Механизмы переноса вещества при массообмене. Молекулярная диффузия. Законы Фика. Конвективный перенос вещества. Дифференциальное уравнение конвективного массообмена.</p> <p>3.1.2. Уравнение массоотдачи. Основные критерии диффузионного подобия. Применение 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.</p> <p>3.1.3. Основы расчета массообменных аппаратов. Общие положения и порядок расчетов. Определение размеров массообменного аппарата с использованием основного уравнения массопередачи. Определение высоты аппарата через число и высоту единиц переноса. Степень изменения концентрации, теоретическая степень взаимодействия фаз. Эффективность ступени изменения концентрации. Определение высоты аппарата через число ступеней изменения концентрации.</p>	6 2  2  2	-	2  2	6	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ

*Примечание 1.* Сокращения в графе «Форма контроля знаний»: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой; ОЛРУЗ – отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

*Примечание 2.* Знаком «\*\*\*» в графе «ЛЗ» отмечено следующее: по указанию преподавателя выполняется лабораторная работа либо по теме «2.3. Теплообменные аппараты», либо по теме «2.4. Выпаривание».

1	2	3	4	5	6	7
3.2	<p><b>Абсорбция</b></p> <p>3.2.1. Общие сведения об абсорбции, ее роль в химической технологии. Равновесие при абсорбции. Десорбция, ее роль и методы осуществления. Материальный баланс абсорбера и его рабочая линия. Обоснование рабочего расхода абсорбента и размеров абсорбера. Принципиальные схемы абсорбционно-десорбционных установок.</p> <p>3.2.2. Классификация абсорберов. Типовые и современные конструкции абсорберов (распылительные, насадочные, тарельчатые и др.). Виды насадок, их характеристики и выбор. Конструкции массообменных тарелок для абсорбционных аппаратов. Порядок расчета абсорбера.</p>	3 2  1	2*** 2*** 2***	2 2	3	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
3.3	<p><b>Перегонка и ректификация</b></p> <p>3.3.1. Общая характеристика процессов, их место в химической технологии. Равновесие в системе пар – жидкость. Простая перегонка. Ее материальный баланс. Ректификация. Установка для непрерывной ректификации бинарной смеси. Материальный баланс непрерывной бинарной ректификации. Уравнения рабочих линий бинарной ректификации. Основные уравнения теплового баланса ректификационной установки. Расчет минимального и обоснование рабочего флегмовых чисел. Конструкции ректификационных колонн. Специальные виды ректификации и установки для их проведения. Порядок расчета ректификационной колонны и установки</p>	3	2*** 2*** 2***	2	3	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ
3.4	<p><b>Термическая сушка</b></p> <p>3.4.1. Общая характеристика процесса, его роль и место в химических производствах. Формы связи влаги с материалом. Методы сушки и обоснование способов удаления влаги из материалов. Конвективная сушка. Сушительные агенты и их выбор. Параметры сушильного агента, <math>I</math>-<math>x</math>-диаграмма влажного воздуха. Механизмы переноса влаги при сушке, кинетика процесса. Движущая сила сушки. Материальный и тепловой балансы конвективной сушилки. Теоретическая и действительная сушилки. Последовательность расчета конвективной сушилки.</p> <p>3.4.2. Классификация сушилок и сушильных установок. Типовые и современные конструкции конвективных сушилок (барabanная, кипящего слоя и др.). Специальные сушилки (радиационные, контактные, сублимационные).</p>	3 2  1	2 2 2	2 2	3	Экзамен, собеседование, ОАПУУЗ, ОЛРУЗ

**Примечание 1.** Сокращения в графе «Форма контроля знаний»: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой; ОЛРУЗ – отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

**Примечание 2.** Знаком «\*\*\*» в графе «ЛЗ» отмечено следующее: по указанию преподавателя выполняется лабораторная работа либо по теме «3.2. Абсорбция», либо по теме «3.3. Перегонка и ректификация».

1	2	3	4	5	6	7
3.5	<b>Адсорбция и ионный обмен</b> 3.5.1. Общие сведения о процессе и его применении. Основные промышленные адсорбенты, их свойства. Равновесие при адсорбции. Десорбция и способы ее проведения. Конструкции адсорберов.	1	-	1	1	Экзамен, ОАПУУЗ
3.6	<b>Жидкостная экстракция</b> 3.6.1. Общие сведения о процессе и его практическом применении. Методы жидкостной экстракции. Основные схемы проведения экстракции. Классификация экстракторов, их конструкции (колонные гравитационные, ступенчатые и др.).	1	-	1	1	Экзамен, ОАПУУЗ
3.7	<b>Растворение и экстрагирование в системе твердое тело – жидкость</b> 3.7.1. Общие сведения о процессах. Экстрагирование жидкого вещества из твердого тела. Экстрагирование твердого вещества. Конструкции экстракторов и растворителей.	1	-	-	1	Экзамен, собеседование
3.8	<b>Кристаллизация из растворов и расплавов</b> 3.8.1. Общие сведения о процессах и их применении. Кристаллизация из растворов. Классификация кристаллизаторов и их конструкции.	1	-	-	1	Экзамен, собеседование
3.9	<b>Мембранные процессы</b> 3.9.1. Общие сведения о процессах и областях их применения. Классификация и характеристика мембранных процессов (баромембранных, диффузионно-мембранных, электро-мембранных, ультра- и микрофильтрации) и мембран.	1	-	-	1	Экзамен, собеседование
4	<b>МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ</b>	2	-	-	2	
4.1	<b>Измельчение твердых материалов</b> 4.1.1. Теории измельчения. Методы измельчения. Степень измельчения. Методы помола. Классификация машин для измельчения. Основные конструкции дробилок (щелевые, конусные и др.) и мельниц (барабанные, вибрационные и др.).	1	-	-	1	Экзамен, собеседование
4.2	<b>Классификации и сортировка твердых материалов</b> 4.2.1. Грохочение. Конструкции грохотов. Пневматические и гидравлические классификаторы	1	-	-	1	Экзамен, собеседование
<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>		<b>72</b>	<b>72</b>	<b>36</b>	<b>144/108</b>	

*Примечание 1.* Сокращения в графе «Форма контроля знаний»: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой.

*Примечание 2.* Число в числителе в графе «Количество часов само-ст. работы» – число часов для студентов спец. 6–05–0711–01, 6–05–0711–06 и 6–05–0711–07; число в знаменателе – число часов для студентов спец. 6–05–0711–05.

### 3.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

для специальностей 6–05–0711–01 «Технология неорганических веществ»

и 6–05–0711–05 «Технология стекла, керамики и вяжущих материалов»

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

Но- мер раз-	Название раздела, темы	Количество аудитор- ных часов			Форма кон- троля знаний
		ЛК	ЛР	ПЗ	
1	2	3	4	5	6
	<b>3 СЕМЕСТР</b>	<b>2</b>	-	-	
	<b>ВВЕДЕНИЕ</b> Общие принципы расчета, анализа и моделирования процессов и аппаратов. Основной кинетический закон явлений переноса.	<b>1</b>			
1	<b>РАЗДЕЛ 1. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>				
1.1	<i>Тема 1.1. Основы технической гидравлики</i> Дифференциальное уравнение равновесия Эйлера. Практическое применение основного уравнения гидростатики.	<b>1</b>			
	<b>4 СЕМЕСТР</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	-	Экзамен*, зачёт*
1.1	Фундаментальные уравнения гидродинамики: дифференциальное уравнение движения Эйлера; дифференциальное уравнение неразрывности потока; уравнение Навье – Стокса.).	<b>2</b>	<b>2</b>		Экзамен*, зачёт*; собеседование; ОЛРУЗ
1.2	<i>Тема 1.2. Гидромеханическое разделение гетерогенных систем</i> Основные критерии выбора метода разделения. Движущая сила процесса фильтрования. Механизмы фильтрования. Основное уравнение фильтрования. Уравнение фильтрования при постоянном перепаде давлений, Основы расчета фильтров.	<b>2</b>	<b>2</b>		
2	<b>РАЗДЕЛ 2. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>2</b>	<b>2</b>		
2.1	<i>Тема 2.1. Основы теории теплообмена</i> Дифференциальное уравнение переноса тепла Фурье. Уравнение закона Фурье. Дифференциальное уравнение конвективного переноса тепла (уравнение Фурье-Киргофа).	<b>2</b>	<b>2</b>		Экзамен, собеседование; ОЛРУЗ

**Примечания.** 1. \* Студенты спец. 6–05–0711–01 в 4-ом семестре сдают экзамен, а студенты спец. 6–05–0711–05 – зачет.

2. Зачёт и экзамен в 4-ом семестре включает материал по разделу 1 «ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ».

3. Сокращение в графе «Форма контроля знаний» расшифровывается: ОЛРУЗ – отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

	<b>5 СЕМЕСТР</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	Экзамен
3	<b>РАЗДЕЛ 3. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>2</b>		<b>4</b>	
3.1	<p><b>Тема 3.1. Основы массопередачи</b>            Основы расчета массообменных аппаратов. Определение размеров массообменного аппарата с использованием основного уравнения массопередачи.</p> <p><b>Тема 3.2. Абсорбция</b>            Порядок расчета абсорбера.</p> <p><b>Тема 3.3. Перегонка и ректификация</b>            Порядок расчета ректификационной колонны и установки.</p>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	Экзамен, собеседование; ОАПУУЗ
				<b>2</b>	
	<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	

**Примечания. 1.** Сокращение в графе «Форма контроля знаний» расшифровывается: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой.

**2.** Экзамен в 5-ом семестре включает материал по разделам 2 «ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ» и 3 «МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ»

### 3.3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

для специальности 6–05–0711–05 Технология стекла, керамики и вяжущих материалов  
(заочная полная форма получения высшего образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Форма контроля знаний
		ЛК	ЛР	ПЗ	
1	2	3	4	5	6
	<b>5 СЕМЕСТР</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	
1	<b>ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>				
1.1	Основы технической гидравлики	4	-	-	
	<b>6 СЕМЕСТР</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	Зачёт
1.2	Перемещение жидкостей и газов	2	2	-	Зачёт; собеседование; ОЛРУЗ
1.3	Гидродинамика гетерогенных систем.	2	2	-	
1.4	Гидромеханическое разделение гетерогенных систем	2	2	-	
	<b>7 СЕМЕСТР</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	Экзамен
2	<b>ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	Экзамен, собеседование; ОЛРУЗ, ОАПУУЗ
2.1	Основы теории теплообмена. Теплообменные аппараты.	2	2	-	
2.2	Выпаривание	1	-	2	
3	<b>МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	
3.1	Основы массопередачи	2	-		
3.2	Абсорбция. Перегонка и ректификация	3	4	4	
3.3	Термическая сушка	2	2	2	
	<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	

*Примечания. 1.* Сокращения в графе «Форма контроля знаний» расшифровываются: ОАПУУЗ – отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой; ОЛРУЗ – отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

*2.* Зачёт в 6-ом семестре включает материал по разделу 1 «ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ».

*3.* Экзамен в 7-ом семестре включает материал по разделам 2 «ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ» и 3 «МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ»

## 4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1. Электронные средства обучения

1. Саевич, Н. П. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии»: Регистрационное свидетельство № 1141816392 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>.

### 4.2. Перечень литературы

#### Основная

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

3. 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.

4. 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

5. Марков, В. А. Процессы и аппараты химической технологии. Лабораторный практикум/ В. А. Марков, С. К. Протасов, А. А. Боровик. – Минск: БГТУ, 2011. – 206 с.

6. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. Под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

7. Процессы и аппараты химической технологии. Расчет и проектирование массообменных аппаратов/ Д. Г. Калишук [и др.] – Минск: БГТУ, 2014. – 498 с.

8. Процессы и аппараты химической технологии: методические указания к курсовому проектированию / Сост. Д. Г. Калишук. С. К. Протасов, В. А. Марков. – Минск: БТИ им. С.М. Кирова. 1992. – 42 с.

9. Положения о курсовом проекте (курсовой работе) учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет. / Исп. Г. И. Касперов, В. В. Горжанов, А. А. Сакович. – Минск: БГТУ, 2024. – 44 с.

#### Дополнительная

10. 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.

11. Гельперин, Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н. И. Гельперин. – М.: Химия, 1981. – 812 с

12. Плановский, А. Н. Процессы и аппараты химической технологии / А. Н. Плановский, В. М. Рамм, С. З. Каган. – М.: Химия, 1968 -847 с.
13. 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.
14. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев.– М.: Химия, 1987. – 496 с.
15. Скобло, А. И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / А. И. Скобло, И. А. Трегубов, Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1982. – 584 с.
16. Молоканов, Ю. К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки / Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1987. – 368 с
17. Фролов, В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»/В. Ф. Фролов – 2-е изд, испр. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 608 с.
18. Романков, П. Г. Процессы и аппараты химической промышленности / П. Г. Романков [и др.] – Л.: Химия, 1989. – 560 с
19. 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.
20. 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.
21. Вилькоцкий, А. И. Процессы и аппараты химической технологии. Техническая гидравлика / А. И. Вилькоцкий и [и др.]: под ред. И. В. Войтова. – Минск: БГТУ, 2021. – 400 с.
22. Игнатович, Э. Химическая техника. Процессы и аппараты. Пер. с нем. / Э. Игнатович. – М.: Техносфера, 2007. – 656 с
23. Горбатюк, В. И. Процессы и аппараты пищевых производств. / В. И. Горбатюк – М.: Колос, 1999. – 333 с.
24. Кавецкий, Г. Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. / Г. Д. Кавецкий, Б. В. Васильев. – М.: Колос, 1999. – 551 с.
25. 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.
26. Войтов, И. В. Процессы и аппарат химической технологии. Массообменные процессы. Сборник примеров и задач. / И. В. Войтов [и др.]. – Минск: БГТУ, 2017. –509 с.
27. Маркаў, У.А. Працэсы і апараты хімічнай тэхналогіі. Практыкум / У. А. Маркаў, С. К. Пратасаў, А. А. Баравік. – Мн.: БГТУ, 2008. – 208 с.

28. 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.
29. Справочник химика. Т. 5. Под ред. Никольского. – М.–Л.: Химия, 1966. – 976 с.
30. Перри, Дж. Справочник инженера-химика. Пер. с англ. В 2-х кн./ Дж. Перри. – Л.: Химия, 1969. – 640 + 504 с.
31. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн. 4) / Под общ. ред. А. В. Клименко и В. М. Зорина.– М.: Издательство МЭИ, 2007. – 632 с.
32. Иоффе, И. И. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И. И. Иоффе. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
33. Тимонин, А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник. В 3-х т. / А. С. Тимонин. – Калуга: Изд-во Н.Бочкаревой, 2006. – 852+1028+968 с
34. Лащинский, А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник / А. А. Лащинский. – М.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
35. Таубман, Е. И. Выпаривание / Е. И. Таубман. – М.: Химия, 1982. – 362 с.
36. Кафаров, В. В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1979.
37. Шервуд, Т. Массопередача / Т. Шервуд, Р.Л. Пигфорд, У. Уилки. – М.: Химия, 1982. – 696 с.
- 38 Александров, И. А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчета и основы конструирования / И. А. Александров. – М.: Химия, 1978. – 280 с.
39. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с
40. Сажин, Б. С. Основы техники сушки / Б. С. Сажин. – М.: Химия, 1984. – 320 с.
41. Ягодин, Г. А. Основы жидкостной экстракции/ Г. А. Ягодин, С. З. Каган – М.: Химия, 1981.
42. Гельперин, Н. И. Основы техники кристаллизации расплавов/ Н. И. Гельперин, Г. А. Носов – М.: Химия, 1975.
43. Кельцев, Н. В. Основы адсорбционной техники/Н. В. Кельцев. – М.: Химия, 1984.

### **4.3. Перечень и тематика практических занятий**

Тематика практических занятий для студентов очной (дневной) формы получения образования формируется в соответствии с последовательностью изложения лекционного материала и охватывает при этом основные разделы и темы дисциплины. На практических занятиях проводятся расчеты статистики и кинетики процессов, а также конструктивных параметров аппаратов, приобретает 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. Перечень тем практических занятий для студентов дневной формы получения образования приведен ниже.

1. Свойства газов и жидкостей и параметры их состояния.
2. Основы прикладной гидростатики.
3. Практическое приложение основных уравнений гидродинамики.
4. Гидравлическое сопротивление трубопроводов.
5. Насосы и компрессорные машины.
6. Гравитационное осаждение. Отстойники.
7. Гидродинамика зернистого слоя.
8. Фильтрация и фильтры.
9. Перемешивание жидких сред.
10. Тепловые балансы. Перенос тепла теплопроводностью.
11. Конвективный теплообмен. Расчет коэффициентов теплоотдачи.
12. Основы расчета теплообменников.
13. Выпаривание.
14. Абсорбция и основы расчетов абсорберов.
15. Перегонка. Основы расчетов ректификационных аппаратов.
16. Сушка. Основы расчетов конвективных сушилок.
17. Основы расчетов адсорберов.

Со студентами специальностей 6–05–0711–01 Технология неорганических веществ и 6–05–0711–05 Технология стекла, керамики и вяжущих материалов (заочная сокращённая форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием) следует провести практические занятия по темам «Перегонка и ректификация» и «Термическая сушка».

Со студентами специальности 6–05–0711–05 Технология стекла, керамики и вяжущих материалов (заочная полная форма получения высшего образования) следует провести практические занятия по темам «Выпаривание», «Абсорбция», «Перегонка и ректификация» и «Термическая сушка».

#### **4.4. Перечень тем лабораторных занятий, их название**

1. Безопасность при проведении лабораторных работ в лабораториях гидравлики и гидромеханических процессов. Общие указания по выполнению работ по гидравлике и гидромеханических процессам.
2. Режимы течения жидкостей (лабораторная работа № 1).
3. Определение расхода газа в трубопроводе с получением профиля распределения локальных скоростей (лабораторная работа № 2).
4. Определение гидравлического сопротивления элементов трубопровода (лабораторная работа № 3).
5. Получение характеристик центробежных нагнетательных машин (насоса и вентилятора) и трубопроводной сети (лабораторная работа № 4).
6. Исследования гравитационного осаждения твердых частиц (лабораторная работа № 5).

7. Исследования эффективности и гидравлического сопротивления циклона (лабораторная работа № 6).

8. Исследование гидродинамики псевдооживленного зернистого слоя и зернистого слоя в состоянии пневмотранспорта (лабораторная работа № 7).

9. Исследование работы емкостного фильтра с получением констант фильтрования (лабораторная работа № 8).

10. Исследование работы мешалки с определением потребляемой мощности (лабораторная работа № 9).

11. Безопасность при проведении лабораторных работ в лабораториях тепловых и массообменных процессов. Общие указания по выполнению работ по тепловым и массообменным процессам.

12. Исследование процесса теплообмена в теплообменнике типа «труба в трубе» с определением экспериментального и расчетного теоретического коэффициентов теплопередачи (лабораторная работа № 11).

13. Исследование процесса нестационарного теплообмена (лабораторная работа № 12).

14. Исследование процесса выпаривания под вакуумом (лабораторная работа № 13).

15. Исследование процесса периодической ректификации бинарной смеси (лабораторная работа № 14).

16. Исследование гидродинамических режимов работы тарельчатых и насадочных массообменных аппаратов и их гидравлического сопротивления (лабораторная работа № 15).

17. Исследование процесса абсорбции в насадочной и тарельчатой колоннах (лабораторная работа № 16).

18. Исследование процесса периодической адсорбции (лабораторная работа № 17).

19. Исследование процесса десорбции - регенерации адсорбента (лабораторная работа № 18).

20. Исследование процесса конвективной сушки в барабанной сушилке (лабораторная работа № 19).

21. Исследование кинетики сушки (лабораторная работа № 20)

**Примечание:** Нумерация работ в сносках соответствует их нумерации в практикуме [5] из списка основной литературы.

Со студентами специальностей 6–05–0711–01 Технология неорганических веществ и 6–05–0711–05 Технология стекла, керамики и вяжущих материалов (заочная сокращённая форма получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием) следует провести три лабораторные работы из следующего списка: «Исследования эффективности и гидравлического сопротивления циклона (лабораторная работа № 6)»; «Исследование работы емкостного фильтра с получением констант фильтрования (лабораторная работа № 8)»; «Исследование процесса выпаривания под вакуумом (лабораторная работа № 13)»; «Исследование процесса периодической ректификации бинарной смеси (лабораторная работа № 14)»; «Исследование процесса абсорбции в

насадочной и тарельчатой колоннах (лабораторная работа № 16)» «Исследование процесса конвективной сушки в барабанной сушилке (лабораторная работа № 19)». Конкретный перечень лабораторных работ устанавливает студентам преподаватель.

#### **4.5. Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности**

Для диагностики результатов учебной деятельности используются:

собеседования;

отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой;

отчеты по лабораторным работам с их устной защитой;

зачет;

экзамен;

курсовой проект с его устной защитой.

Текущий контроль уровня знаний и компетенций и их приращения может также осуществляется в ходе собеседований при допуске к выполнению лабораторных работ, мониторинге хода выполнения курсового проекта, собеседованиях и опросах на практических занятиях. Допускается экспресс-опрос студентов во время лекций.

В ходе 4-го и 5-го семестров проводятся текущие аттестации студентов специальностей 6–05–0711–01 «Технология неорганических веществ», 6–05–0711–05 «Технология стекла, керамики и вяжущих материалов», 6–05–0711–06 «Электрохимические производства» и 6–05–0711–07 «Производство материалов и устройств электроники» (по две аттестации в каждом из семестров по итогам отчетов по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой и отчетам по лабораторным работам с их устной защитой). Результаты указанных аттестаций учитываются при выставлении студентам итоговой оценки по дисциплине на экзамене. Об этом студентов информируют преподаватели кафедры в начале каждого из семестров.

Расчет итоговой отметки по учебной дисциплине ( $OT_{\text{экз}}$ ), которая вносится в зачетно-экзаменационную ведомость, производится по формуле (с последующим округлением полученного числа до ближайшего целого):

$$OT_{\text{экз}} = OT_{\text{межс1}} \times K_{\text{межс}} + OT_{\text{межс2}} \times K_{\text{межс}} + OT_{\text{пр}} \times K_{\text{пр}},$$

где  $OT_{\text{межс}}$  – отметка по межсессионной аттестации (первой и второй);  $OT_{\text{пр}}$  – отметка, полученная на экзамене, дифференцированном зачете;  $K_{\text{межс}}$  и  $K_{\text{пр}}$  – весовые коэффициенты соответствующих видов аттестации.

Кафедрой установлены следующие значения весовых коэффициентов:  $K_{\text{межс}} = 0,2$ ;  $K_{\text{пр}} = 0,6$ .

#### **4.6. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающимися по учебной дисциплине**

При изучении дисциплины используется учебно-методический комплекс с материалами, помогающими студенту в организации самостоятельной работы. Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по дисциплине

«Процессы и аппараты химической технологии» размещен на сайте Белорусского государственного технологического университета на странице кафедры процессов и аппаратов химических производств.

Самостоятельная работа студентов предусматривает ознакомление с научной, учебной, патентной и справочной литературой, ее изучение, выполнение учебно-исследовательских работ, подготовку к практическим и лабораторным занятиям, зачетам, экзаменам и защите курсового проекта, самостоятельное выполнение расчетных и описательных разделов пояснительной записки и графической части курсового проекта, анализ конкретных ситуаций. Целям улучшения организации самостоятельной работы студентов служат регулярные консультации, которые лекторы проводят в течение каждого из семестров, в ходе которых изучаются теоретические основы дисциплины, а также консультации руководителей курсового проектирования.

При самостоятельной работе студент-заочник 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 и страницу кафедры процессов и аппаратов химических производств на сайте БГТУ).

При подготовке для 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.* При этом следует 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)
Оборудование и проектирование предприятий отрасли	Кафедра технологии неорганических веществ и общей химической технологии	Замечаний нет	Рекомендовать к утверждению, протокол № 3 от 22.11.2024 г.
Оборудование и проектирование предприятий электрохимических производств	Кафедра химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники	Замечаний нет	Рекомендовать к утверждению, протокол № 3 от 22.11.2024 г.
Оборудование и проектирование предприятий отрасли	Кафедра химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники	Замечаний нет	Рекомендовать к утверждению, протокол № 3 от 22.11.2024 г.
Оборудование и проектирование предприятий отрасли	Кафедра технологии стекла, керамики и вяжущих материалов	Замечаний нет	Рекомендовать к утверждению, протокол № 3 от 22.11.2024 г.

Содержание учебной программы согласовано с выпускающими кафедрами:

Заведующий кафедрой технологии

неорганических веществ и

общей химической технологии

кандидат биологических наук, доцент

\_\_\_\_\_ Е. А. Флюрик

Заведующий кафедрой химии,

технологии электрохимических производств и

материалов электронной техники

кандидат химических наук, доцент

\_\_\_\_\_ А. А. Черник

Заведующий кафедрой

технологии стекла, керамики

и вяжущих материалов

кандидат технических наук, доцент

\_\_\_\_\_ Ю. Г. Павлюкевич

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО**  
**на 2025/2026 учебный год**

№№ п.п.	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры процессов и аппаратов химических производств (протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой ПиАХП

доктор технических наук, доцент \_\_\_\_\_ А.Э. Левданский

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета ХТТ

кандидат технических наук, доцент \_\_\_\_\_ Ю.А.Климош