

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 10 » августа 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Процессы и аппараты химической технологии  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** бакалавриат  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 360 (10)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 18.03.01 Химическая технология  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Химическая технология (общий профиль, СУОС)  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

формирование комплекса знаний, умений и навыков по теории технологических процессов, их аппаратного оформления, освоение методов расчета процессов и аппаратов химической технологии

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- технологические процессы ;
- основные аппараты гидромеханических, тепловых и массообменных процессов

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)   | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения  | Средства оценки            |
|-------------|-------------------|---|---|----------------------------|
| ПК-2.7      | ИД-1пк-2.7        | Знает основные физические теории, кристаллические структуры и их связи с природой вещества необходимые для решения возникающих физических задач в своей профессиональной области; принципы работы приборов и устройств. | Знает основные физические теории, кристаллические структуры и их связи с природой вещества необходимые для решения возникающих физических задач в своей профессиональной области; принципы работы приборов и устройств. | Тест                       |
| ПК-2.7      | ИД-2пк-2.7        | Умеет применять знания о физических теориях, кристаллических структурах и их связи с природой вещества и самостоятельно приобретать их для решения возникающих задач.   | Умеет применять знания о физических теориях, кристаллических структурах и их связи с природой вещества и самостоятельно приобретать их для решения возникающих задач.   | Защита лабораторной работы |

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)   | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения  | Средства оценки |
|-------------|-------------------|---|---|-----------------|
| ПК-2.7      | ИД-3пк-2.7        | Владеет навыками использования для решения возникающих задач основных физических теорий; приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств. | Владеет навыками использования для решения возникающих задач основных физических теорий; приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств. | Зачет           |

### 3. Объем и виды учебной работы

| Вид учебной работы   | Всего часов | Распределение по семестрам в часах |     |    |
|--|-------------|------------------------------------|-----|----|
|  |             | Номер семестра                     |     |    |
|  |             | 5                                  | 6   | 7  |
| 1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме: | 146         | 64                                 | 80  | 2  |
| 1.1. Контактная аудиторная работа, из них:   |             |                                    |     |    |
| - лекции (Л)   | 48          | 24                                 | 24  |    |
| - лабораторные работы (ЛР)   | 54          | 18                                 | 36  |    |
| - практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)        | 36          | 18                                 | 18  |    |
| - контроль самостоятельной работы (КСР)  | 8           | 4                                  | 2   | 2  |
| - контрольная работа   |             |                                    |     |    |
| 1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)  | 178         | 44                                 | 100 | 34 |
| 2. Промежуточная аттестация  |             |                                    |     |    |
| Экзамен  | 36          |                                    | 36  |    |
| Дифференцированный зачет   | 9           | 9                                  |     |    |
| Зачет  |             |                                    |     |    |
| Курсовой проект (КП)   | 36          |                                    |     | 36 |
| Курсовая работа (КР)   |             |                                    |     |    |
| Общая трудоемкость дисциплины  | 360         | 108                                | 216 | 36 |

### 4. Содержание дисциплины

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием    | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
|   | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| 5-й семестр   |   |    |    |  |
| Введение  | 1   | 0  | 0  | 0  |
| Предмет и задачи курса. Классификация основных процессов. |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием   | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|----|----|--|
|  | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| <b>Раздел 1 ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ</b>  | 5   | 0  | 4  | 14   |
| Тема 1. Гидростатика Основные свойства газов и жидкостей. Давление, свойства гидростатического давления. Основное уравнение гидростатики и его практическое применение (СРС) Тема 2 Гидродинамика Понятие объемного и массового расхода. Режимы движения жидкости в трубопроводах. Понятие эквивалентного диаметра и гидравлического радиуса. Гидравлическое сопротивление в трубопроводах. Потери напора на трение и на местных сопротивлениях. Расчет диаметра трубопровода. Рекомендуемые скорости пара, газа и жидкости в трубопроводах. Понятие условного диаметра и условного давления. Гидравлические и пневматические испытания сосудов и аппаратов. (СРС)                           |   |    |    |  |
| <b>РАЗДЕЛ 2 ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ</b>   | 9   | 8  | 6  | 15   |
| Тема 3. Псевдооживленный (кипящий) слой Характеристики кипящего слоя: порозность, коэффициент псевдооживления, гидравлическое сопротивление, фиктивная и действительная скорость. Устройство аппаратов КС, типы газораспределительных решеток (СРС). Тема 4 Гидродинамика потоков в насадках Основные виды и характеристики насадок. Способы укладки. Гидродинамические режимы двухфазных потоков в насадке. Особенности работы эмульгационных колонн. Аппаратура процесса. Тема 5 Очистка газа от пыли Очистка газов под действием центробежной силы. Циклоны. Очистка газов фильтрованием. Мокрая очистка газов, аппаратура процесса. Электрическая очистка газов. Электро-фильтры.        |   |    |    |  |
| <b>РАЗДЕЛ 3 ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ</b>  | 9   | 10 | 8  | 15   |
| Тема 6. Способы передачи тепла. Теплоотдача и теплопередача. Передача тепла теплопроводностью, закон Фурье. Конвективный теплообмен, закон Ньютона. Лучистый теплообмен, закон Стефана-Больцмана. Основное уравнение теплопередачи. Связь коэффициентов теплопередачи и тепло-отдачи. Теплопередача при переменных температурах теплоносителей. Средняя движущая сила тепловых процессов при прямотоке, противотоке, смешанном токе. Тепловые балансы. Определение температуры стенок. Тема 7 Тепловое подобие. Аппаратурное оформление тепловых процессов. Основные критерии теплового подобия, их физический смысл. Опытные данные по теплопередаче. Критериальные уравнение для различных |   |    |    |  |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием  | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
|   | Л   | ЛР | ПЗ | СРС  |
| тепловых процессов: с изменением и без изменения агрегатного состояния вещества. Основные конструкции теплообменных аппаратов. Способы компенсации температурных удлинений. Порядок расчета теплообменных аппаратов. Тема 8 Выпаривание. Технические методы процесса выпаривания. Температурная депрессия. Материальный и тепловой баланс однократного выпаривания. Понятие общей и полезной разности температур. Гидростатическая и гидравлическая депрессия. Конструкции выпарных аппаратов. Прямоточная и противоточная схемы процесса. Выбор оптимального числа корпусов многокорпусной выпарной установки.   |   |    |    |  |
| ИТОГО по 5-му семестру  | 24  | 18 | 18 | 44   |
| <b>6-й семестр</b>  |   |    |    |  |
| <b>РАЗДЕЛ 4 МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ</b>  | 8   | 9  | 6  | 25   |
| Тема 9. Теория массообменных процессов Понятие массообменных процессов. Понятие массообменного равновесия, равновесные концентрации. Материальный баланс массообменных процессов. Уравнение рабочей линии. Изображение рабочей и равновесной линии на Y-X диаграмме. Направление массопереноса. Тема 10 Массопередача. Методы расчета массообменных аппаратов Основное уравнение массопередачи. Молекулярная диффузия, закон Фика. Конвективная диффузия, закон Шукарева. Средняя движущая сила массообменных процессов, ее определение. Число единиц переноса, высота единиц переноса их физический смысл и способы определения. Расчет пленочных массообменных аппаратов по основному уравнению массопередачи. Расчет аппаратов со ступенчатым контактом фаз по числу теоретических тарелок и по кинетической кривой. Расчет насадочных массообменных аппаратов по числу единиц переноса и с использованием объемного коэффициента массопередачи. |   |    |    |  |
| <b>РАЗДЕЛ 5 АБСОРБЦИЯ</b>   | 5   | 9  | 4  | 25   |
| Тема 11. Теоретические основы процессов абсорбции Процессы абсорбции в химической технологии. Влияние температуры и давления на процесс абсорбции. Закон Генри, Закон Дальтона. Материальный и тепловой баланс процесса абсорбции. Тема 12 Аппаратура процесса Конструкции абсорберов: полые, насадочные, пленочные, тарельчатые, скоростные прямоточные, механические.   |   |    |    |  |
| <b>РАЗДЕЛ 6 РЕКТИФИКАЦИЯ</b>  | 5   | 9  | 4  | 25   |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием   | Объем аудиторных занятий по видам в часах |           |           | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|-----------|-----------|--|
|  | Л   | ЛР        | ПЗ        | СРС  |
| Тема 13. Теоретические основы процесса Ректификация и дистилляция. Понятие азеотропной смеси. Материальный баланс процесса ректификации. Флегма, флегмовое число, коэффициент избытка флегмы. Уравнение рабочей линии для укрепляющей и исчерпывающей частей колонны. Построение рабочих линий на Y-X диаграмме. Понятие минимального флегмового числа. Азеотропная и экстрактивная ректификация. Тема 14 Аппаратура процесса Аппаратура процесса ректификации. Технологические схемы процессов ректификации периодического и непрерывного действия  |   |           |           |  |
| <b>РАЗДЕЛ 7 СУШКА</b>  | <b>6</b>                                  | <b>9</b>  | <b>4</b>  | <b>25</b>                                    |
| Тема 15. Теоретические основы процесса сушки Способы сушки, связь влаги с материалом. Основные свойства влажного воздуха. Равновесие в процессе сушки. Движущая сила процесса. Понятие температуры мокрого термометра. Материальный баланс процесса сушки. Диаграмма Рамзина для влажного воздуха. Кинетика сушки. Тема 16 Аппаратура процесса сушки Конструкции сушилок: камерная, ленточная, пневматическая, барабанная, сушилка КС, вальцовая сушилка. Различные схемы сушильных процессов (простая сушка, сушка с промежуточным подогревом, с частичной циркуляцией отработанного газа, сушка топочными газами). |   |           |           |  |
| <b>ИТОГО по 6-му семестру</b>  | <b>24</b>                                 | <b>36</b> | <b>18</b> | <b>100</b>                                   |
| <b>7-й семестр</b>   |   |           |           |  |
| Курсовой проект  | 0   | 0         | 0         | 34   |
| Выполнение курсового проекта   |   |           |           |  |
| <b>ИТОГО по 7-му семестру</b>  | <b>0</b>                                  | <b>0</b>  | <b>0</b>  | <b>34</b>                                    |
| <b>ИТОГО по дисциплине</b>   | <b>48</b>                                 | <b>54</b> | <b>36</b> | <b>178</b>                                   |

### Тематика примерных практических занятий

| № п.п. | Наименование темы практического (семинарского) занятия  |
|--------|---|
| 1      | Основное уравнение гидростатики и его практическое применение   |
| 2      | Гидравлическое сопротивление трубопроводов, потери напора на трение и местные сопротивления. Расчет и подбор насосов и ком-прессорных машин |
| 3      | Определение скорости начала псевдооживления и скорости уноса  |
| 4      | Расчет гидравлического сопротивления сухой и орошаемой насадки  |
| 5      | Расчет аппаратов для очистки запыленных газов   |

| <b>№ п.п.</b> | <b>Наименование темы практического (семинарского) занятия</b>  |
|---------------|--|
| 6             | Тепловые балансы, средняя движущая сила тепловых процессов, основное уравнение теплопередачи   |
| 7             | Критериальные уравнения тепловых процессов, расчет теплообменных аппаратов   |
| 8             | Решение задач по лучистому и конвективному теплообмену в трубчатых печах   |
| 9             | Способы выражения состава фаз. Материальный баланс массообменных процессов   |
| 10            | Средняя движущая сила массообменных процессов, ее определение, методы расчета массообменных аппаратов  |
| 11            | Материальный баланс процесса абсорбции, расчет насадочных и тарельчатых абсорберов   |
| 12            | Материальный и тепловой баланс процесса ректификации, расчет числа тарелок и высоты насадки колонных аппаратов. Расчет минимального и действительного флегмового числа. Определение числа тарелок по кинетической кривой |
| 13            | Материальный и тепловой баланс процесса сушки, диаграмма Рамзина   |

### Тематика примерных лабораторных работ

| <b>№ п.п.</b> | <b>Наименование темы лабораторной работы</b>    |
|---------------|---|
| 1             | Гидродинамика псевдооживленного (кипящего) слоя |
| 2             | Гидродинамика насадочной колонны                |
| 3             | Испытание кожухотрубчатого теплообменника       |
| 4             | Испытание пластинчатого теплообменника          |
| 5             | Массообмен в тарельчатой колонне                |
| 6             | Испытание пленочного абсорбера                  |
| 7             | Испытание тарельчатой ректификационной колонны  |
| 8             | Исследование конвективной сушки твердого тела   |

### Тематика примерных курсовых проектов/работ

| <b>№ п.п.</b> | <b>Наименование темы курсовых проектов/работ</b>  |
|---------------|---|
| 1             | Проект нормализованного холодильника-конденсатора для конденсации и охлаждения насыщенного пара бутилового спирта оборотной водой |
| 2             | Проект нормализованного теплообменника «труба в трубе» для конденсации насыщенного пара ацетона                                   |
| 3             | Проект аппарата воздушного охлаждения для конденсации паров бензина   |
| 4             | Проект нормализованного пластинчатого холодильника для охлаждения бензино-вых фракций   |
| 5             | Проект насадочной ректификационной колонны для разделения бинарной смеси метиловый спирт-вода                                     |
| 6             | Проект ректификационной колонны для разделения бинарной смеси хлороформ-бензол  |

| № п.п. | Наименование темы курсовых проектов/работ   |
|--------|---|
| 7      | Проект нормализованного кожухотрубчатого теплообменника для нагрева воды до температуры кипения             |
| 8      | Проект нормализованного теплообменника для конденсации газообразного NH <sub>3</sub>                        |
| 9      | Проект нормализованного теплообменника для нагрева воздуха насыщенным водяным паром                         |
| 10     | Проект насадочного абсорбера для поглощения SO <sub>3</sub> водой   |
| 11     | Проект тарельчатого абсорбера для поглощения CO <sub>2</sub> водой  |
| 12     | Проект нормализованного кожухотрубчатого теплообменника для нагрева газообразного азота                     |
| 13     | Проект абсорбера для поглощения NH <sub>3</sub> водой   |
| 14     | Проект нормализованного теплообменника для конденсации перегретого водяного пара                            |
| 15     | Проект насадочной ректификационной колонны для разделения бинарной смеси этиловый спирт – вода              |
| 16     | Проект нормализованного теплообменника для конденсации насыщенного пара метанола                            |
| 17     | Проект нормализованного теплообменника типа «труба в трубе» для конденсации перегретого водяного пара       |
| 18     | Проект тарельчатой ректификационной колонны для разделения бинарной смеси метанол – вода                    |
| 19     | Проект насадочного абсорбера для поглощения SO <sub>2</sub> водой   |
| 20     | Проект ректификационной колонны с ситчатыми тарелками для разделения бинарной смеси вода – уксусная кислота |

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

## 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

| № п/п  | Библиографическое описание<br>(автор, заглавие, вид издания, место, издательство,<br>год издания, количество страниц)  | Количество<br>экземпляров в<br>библиотеке |
|--|--|---|
| <b>1. Основная литература</b>  |  |   |
| 1  | Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов. 11-е изд., стер., дораб. Москва : Альянс, 2005. 750 с.  | 38  |
| 2  | Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию : учебное пособие для вузов / Борисов Г. С., Брыков В. П., Каган С. З., Дытнерский Ю. И. Стер., перепеч. с изд. 1991 г. Москва : Альянс, 2015. 493 с. 40,2 усл. печ. л.      | 2   |
| 3  | Основы проектирования химических производств : учебник для вузов / Косинцев В.И., Михайличенко А.И., Крашенинникова Н.С., Миронов В.М. М. : Академкнига, 2005. 332 с.  | 9   |
| <b>2. Дополнительная литература</b>                                  |  |   |
| <b>2.1. Учебные и научные издания</b>                                |  |   |
| 1  | Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учебное пособие для вузов. 13-е изд., стер. М. : Альянс, 2006. 575 с.   | 7   |
| 2  | Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование. Основы теории процессов химической технологии / Баранов Д. А., Вязьмин А. В., Гухман А. А., Дильман В. В. Москва : Логос, 2000. 478 с. | 29  |
| <b>2.2. Периодические издания</b>                                    |  |   |
| 1  | Химическое и нефтегазовое машиностроение : международный научно-технический и производственный журнал. Москва : Изд-во МГУИЭ, 1932 - .   |   |
| <b>2.3. Нормативно-технические издания</b>                           |  |   |
|  | Не используется  |   |
| <b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b> |  |   |
| 1  | Процессы и аппараты химической технологии. Ч. 1. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2017. 78 с. 5,0 усл. печ. л.  | 5   |

|   |  |   |
|---|--|---|
| 2   | Процессы и аппараты химической технологии. Ч. 2 / Ложкин И. Г., Ромашкин М. А., Беляев В. М., Загидуллин С. Х. Пермь : ПНИПУ, 2019. 70 с. 4,5 усл. печ. л. | 5 |
| <b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b> |  |   |
| Не используется   |  |   |

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

| Вид литературы            | Наименование разработки   | Ссылка на информационный ресурс   | Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ) |
|---------------------------|---|---|---|
| Дополнительная литература | Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. - М.: Альянс, 2006 | <a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks116897">http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks116897</a> | локальная сеть; свободный доступ  |

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Вид ПО   | Наименование ПО                                      |
|--|--|
| Операционные системы                                 | Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)      |
| Офисные приложения.                                  | Adobe Acrobat Reader DC. бесплатное ПО просмотра PDF |
| Офисные приложения.                                  | Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567    |
| Прикладное программное обеспечение общего назначения | MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.                   |

## 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Наименование  | Ссылка на информационный ресурс                                     |
|---|---|
| База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)                                    | <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>             |
| Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета | <a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>               |
| Электронно-библиотечная система Лань  | <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>         |
| Электронно-библиотечная система IPRbooks  | <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a> |
| Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс   | <a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>   |
| Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки                    | <a href="http://www.diss.rsl.ru/">http://www.diss.rsl.ru/</a>       |

| Наименование   | Ссылка на информационный ресурс                                 |
|--|---|
| Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России" | <a href="https://техэксперт.сайт/">https://техэксперт.сайт/</a> |

### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

| Вид занятий          | Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения   | Количество единиц |
|----------------------|---|-------------------|
| Курсовой проект      | Аудитория для проведения лекционных занятий, стол преподавателя, столы, стулья  | 20                |
| Лабораторная работа  | Лаборатория по процессам и аппаратам химической технологии, стол преподавателя, столы, стулья                               | 1                 |
| Лекция               | Аудитория для проведения лекционных занятий, мультимедийный комплекс на базе проектора, стол преподавателя, столы, стулья   | 20                |
| Практическое занятие | Аудитория для проведения практических заданий, мультимедийный комплекс на базе проектора, стол преподавателя, столы, стулья | 20                |

### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

|                              |
|------------------------------|
| Описан в отдельном документе |
|------------------------------|

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
**«Процессы и аппараты химической технологии»**  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

|  |  |
|--|--|
| <b>Направление подготовки:</b>                                 | 18.03.01 Химическая технология                 |
| <b>Направленность (профиль)<br/>образовательной программы:</b> | Химическая технология (общий профиль,<br>СУОС) |
| <b>Квалификация выпускника:</b>                                | Бакалавр                                       |
| <b>Выпускающая кафедра:</b>                                    | Химические технологии                          |
| <b>Форма обучения:</b>   | Очная  |
| <b>Курс:</b> 3, 4  | <b>Семестр:</b> 5, 6, 7                        |

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 10 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 360 ч.

**Форма промежуточной аттестации:**

Дифференцированный зачёт – 5 семестр

Экзамен – 6 семестр

Курсовой проект – 7 семестр

**Фонд оценочных средств (ФОС)** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины и разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов указанной аттестации и критерии выставления оценок. Настоящий ФОС устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### **1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД, освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение трех семестров (5-го, 6-го и 7-го семестров учебного плана) и включает 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, практические и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов.

В 7-м семестре предусмотрено выполнение курсового проекта.

В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, дифференциального Зачёта в 5-ом семестре, экзамена в 6-ом семестре. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

| Контролируемые результаты обучения по дисциплине   | Вид контроля |      |               |            |               |    |         |
|--|--------------|------|---------------|------------|---------------|----|---------|
|  | Текущий      |      | Рубежный      |            | Промежуточный |    |         |
|  | ТО           | ТКР  | ОЛР           | РТ/КР      | Зачёт         | КП | Экзамен |
| <b>Усвоенные знания</b>  |              |      |               |            |               |    |         |
| <b>З.1</b> знает основные законы переноса теплоты и массы вещества   | ТО           | ТКР1 | ОЛР1-<br>ОЛР7 | РТ1<br>РТ2 | ТВ            | КП | ТВ      |
| <b>З.2</b> знает теорию гидромеханических и тепло-массообменных процессов  |              |      | ОЛР1-<br>ОЛР7 |            | ТВ            | КП | ТВ      |
| <b>З.3</b> знает принципиальное устройство аппаратов основных технологических процессов                                    | ТО           | ТКР2 | ОЛР1-<br>ОЛР7 | КР2        | ТВ            | КП | ТВ      |
| <b>З.4</b> знает методы расчета типовых процессов и аппаратов  |              |      |               |            |               |    |         |
| <b>Освоенные умения</b>  |              |      |               |            |               |    |         |
| <b>У.1</b> умеет выбирать технологические средства и технологии основных гидромеханических и тепло-массообменных процессов |              | ТКР2 | ОЛР1-<br>ОЛР7 | КР1        | ТВ            | КП | ПЗ      |
| <b>У.2</b> умеет выполнять расчеты основных процессов и аппаратов  |              |      | ОЛР1-<br>ОЛР7 |            | ТВ            | КП | ПЗ      |
| <b>У.3</b> умеет применять на практике методы расчета основных процессов   |              |      | ОЛР1-<br>ОЛР7 | КР2        | ТВ            | КП | ПЗ      |
| <b>У.4</b> умеет выполнить типовой проект теплообменного аппарата  |              |      |               |            | ТВ            | КП | ПЗ      |

| Контролируемые результаты обучения по дисциплине  | Вид контроля                  |     |           |       |               |    |         |
|---|-------------------------------|-----|-----------|-------|---------------|----|---------|
|   | Текущий                       |     | Рубежный  |       | Промежуточный |    |         |
|   | ТО                            | ТКР | ОЛР       | РТ/КР | Зачёт         | КП | Экзамен |
| У.1 умеет выбирать технологические средства и технологии основных гидромеханических и тепло-массообменных процессов             |                               |     |           |       | ТВ            | КП | ПЗ      |
|   | <b>Приобретённые владения</b> |     |           |       |               |    |         |
| В.1 владеет практическими навыками при разработке технологических процессов и выборе аппаратурного оформления для их проведения |                               |     | ОЛР1-ОЛР7 |       |               | КП |         |

*ТО – теоретический опрос; ТКР – текущая контрольная работа по теме; ОЛР – отчет по лабораторной работе; РТ/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание, КП – курсовое проектирование*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине в 5-м семестре является промежуточная аттестация в виде дифференцированного Зачёта, проводимая по итогам текущего и рубежного контроля.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине в 6-м семестре является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая в устной форме по билетам с учётом результатов текущего и промежуточного контроля.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине в 7-м семестре является промежуточная аттестация в виде курсового проекта.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

## 2.1. Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль усвоения материала проводится в форме тестовых заданий, решения задач или собеседования или выборочного теоретического опроса студентов по темам модуля. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## 2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексной оценки усвоенных знаний, освоенных умений и приобретённых владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ, рубежных контрольных работ и рубежного тестирования (после изучения каждого раздела учебной дисциплины).

### 2.2.1. Защита лабораторных работ

Количество запланированных лабораторных работ указано в РПД дисциплины. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### 2.2.2. Рубежное тестирование (контрольная работа)

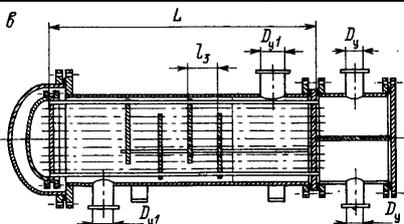
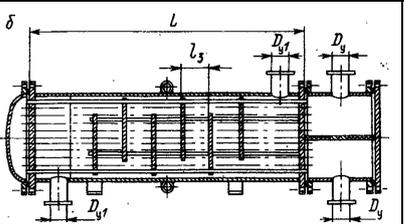
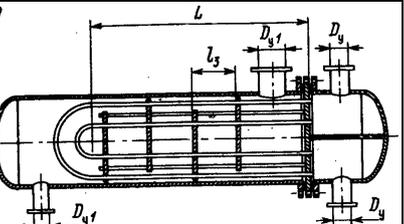
Рубежные тестирования (РТ) и контрольные работы (КР) запланированы после освоения студентами учебных разделов дисциплины.

## Типовые задания тестирования:

1. Установите соответствие между процессом и характеризующим его выражением:

|          |  |          |  |          |  |          |  |
|----------|--|----------|--|----------|--|----------|--|
| <b>1</b> | Тепловые                                 | <b>2</b> | Химические                               | <b>3</b> | Гидромеханические                        | <b>4</b> | Массообменные                            |
| <b>A</b> | $dM/dV \cdot d\tau = K_4 \cdot \Delta c$ | <b>B</b> | $dQ/dF \cdot d\tau = K_2 \cdot \Delta t$ | <b>C</b> | $dM/dF \cdot d\tau = K_3 \cdot \Delta c$ | <b>D</b> | $dG/dS \cdot d\tau = K_1 \cdot \Delta p$ |

2. Установите соответствие между конструкциями теплообменных аппаратов и их изображениями.

|          |   |          |  |          |   |
|----------|---|----------|--|----------|---|
| <b>1</b> | U-образные трубки   | <b>2</b> | Плавающая головка  | <b>3</b> | Компенсатор в виде линз   |
| <b>A</b> |  | <b>B</b> |  | <b>C</b> |  |

3. Неподвижный слой твердых частиц переходит в состояние псевдооживления при условиях:

- 1) перепад давления в слое меньше, чем давление поддержания слоя
- 2) вес слоя уравнивается силой его гидравлического сопротивления
- 3) температура газа становится выше «точки росы»
- 4) скорость газа достигает первого критического значения

5) силы сцепления частиц не преодолены

4. Процесс передачи тепла характеризуется следующими параметрами:  $\alpha_1=47,3$  Вт/(м<sup>2</sup>\*град),  $\alpha_2=31,2$  Вт/(м<sup>2</sup>\*град), термическое сопротивление стенки не учитывается. Как при этих условиях протекания процесса можно охарактеризовать значение коэффициента  $K$ ?

1)  $K < \alpha_1$

2)  $K > \alpha_1$

3)  $K < \alpha_2$

4)  $K > \alpha_2$

Результаты тестирования по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

#### **Типовые задания контрольной работы:**

1. Рассчитайте критерий Рейнольдса для указанных условий и укажите режим движения жидкости: средняя скорость потока – 0,15 м/с; диаметр круглого трубопровода – 0,05 м, кинематическая вязкость воды при данных условиях –  $10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

2. Определите эквивалентный диаметр для полностью заполненного жидкостью квадратного трубопровода со стороной, длина которой равняется  $a$  (м).

3. Какова ориентировочная площадь теплообмена (м<sup>2</sup>) для обеспечения переноса тепла в объеме 150 кДж при коэффициенте теплопередачи в 50 Дж/(м<sup>2</sup>\*сек\*град) и средней движущей силе в 25 С?

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и практических заданий, положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзаменов по дисциплине устно по билетам и защиты курсового проекта.

Выполнение курсового проекта призвано выявить способности студентов на основе полученных знаний самостоятельно решать конкретные практические задачи по одному из разделов, изучаемых по дисциплине, а также направлено на формирование соответствующих компетенций. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и уровня приобретённых владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных дисциплинарных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы

### **2.3.1 Типовые вопросы и задания для экзаменов по дисциплине**

#### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Теплопроводность. Уравнение Фурье. Коэффициент теплопроводности, его значения для различных сред, материалов. Понятие о плотности теплового потока.
2. Конвективный теплообмен: механизм процесса, уравнение Ньютона, коэффициент теплоотдачи.
3. Движущая сила тепловых процессов, расчет средней движущей силы при различном направлении движения теплоносителей.
4. Молекулярная диффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии, его размерность и численные значения.
5. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Уравнение массоотдачи. Коэффициент массоотдачи.
6. Фазовое равновесие бинарных смесей. Закон Рауля. P-X, t-x-y, У-X диаграммы равновесия для идеальных растворов.

#### **Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:**

1. Записать тепловой баланс для подогревателя жидкой среды. Выразить расход горячего теплоносителя.
2. Определить среднюю движущую силу в теплообменнике при противоточном и прямоточном движении сред.
3. Указать порядок определения коэффициента теплоотдачи.
4. Составить тепловой баланс ректификационной колонны.
5. Указать методы расчета насадочного абсорбера.
6. Записать уравнения рабочих линий для ректификационной колонны непрерывного действия.

*Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.*

#### **Типовые темы курсовых проектов**

1. Рассчитать и запроектировать теплообменник для нагрева бензолно-толуольной среды.
2. Проект абсорбера для поглощения аммиака из смеси с воздухом.
3. Проект ректификационной установки для разделения раствора метилового спирта в воде.
4. Рассчитать и запроектировать конденсатор насыщенных паров нитробензола.

Критерии и шкалы оценивания приведены в общей части ФОС программы бакалавриата.

*Полный комплект заданий для курсового проектирования хранится на*

*выпускающей кафедре.*

### **2.3.2 Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене и при защите курсового проекта**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена и защиты курсового проекта.

Типовые шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена и защите курсового проекта для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

## **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций**

### **3.1 Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете дисциплинарной компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС программы бакалавриата.

### **3.2 Оценка уровня сформированности компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учётом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

## Приложение А – Типовая форма билета

|   |  |
|---|--|
| Министерство науки и высшего образования<br>Российской Федерации<br>Федеральное государственное автономное<br>образовательное учреждение<br>высшего образования<br><br>«Пермский национальный исследовательский<br>политехнический университет» | 18.03.01 Химическая технология<br><br>Химическая технология (общий профиль,<br>СУОС)<br><br><i>Кафедра «Оборудование и автоматизация<br/>химических производств»</i> |
| <b>Дисциплина «Процессы и аппараты химической технологии»</b>   |  |
| <b>БИЛЕТ №13</b>  |  |
| 1. Понятие массообменных процессов. Молекулярная диффузия, закон Фика. Конвективная диффузия, закон Шукарева ( <i>контроль знаний</i> ).  |  |
| 2. Сравнение различных схем сушильных процессов (простая сушка, сушка с промежуточным подогревом, с частичной циркуляцией отработанного газа, сушка топочными газами) ( <i>контроль умений и владений</i> ).                                    |  |
| 3. Составление материального баланса массообменных процессов ( <i>контроль умений и владений</i> ).   |  |
| Составил _____ М.А. Ромашкин<br>(подпись)   |  |
| Заведующий кафедрой _____ Е.Р. Мошев<br>(подпись)   |  |
| «__» _____ 20__ г.  |  |