

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ ИМ. Н.С. КУРНАКОВА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИОНХ РАН)

«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор ИОНХ РАН  
акад. РАН В.К. Иванов  
2026 г.



## Рабочая программа дисциплины Процессы и аппараты химических технологий

**Шифр и наименование области науки:** 1. Технические науки

**Шифр и наименование группы научных специальностей:** 2.6. Химические технологии,  
науки о материалах, металлургия

**Шифр и наименование научной специальности:**  
2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

**Форма обучения:** очная

**Нормативный срок обучения:** 4 года

Москва  
2026 г.

## 1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины Процессы и аппараты химических технологий разработана в соответствии с федеральными государственными требованиями, утвержденными Минобрнауки России от 20 октября 2021 г. № 951.

Изучение дисциплины Процессы и аппараты химических технологий в соответствии с учебными планами подготовки аспирантов осуществляется в течение 2-го курса обучения в аспирантуре и завершается сдачей кандидатского минимума.

Целями и задачами дисциплины Процессы и аппараты химических технологий являются: освоение общих фундаментальных закономерностей переноса импульса, энергии и вещества, методов теории подобия; обобщение множества существующих конструктивно-технологических решений и поиск новых путей совершенствования процессов и аппаратов.

## 2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Дисциплина Процессы и аппараты химических технологий относится к образовательному компоненту программы аспирантуры, является обязательной для освоения.

## 3. Структура и основное содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачётных единиц (288 часов).

### 3.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб.	Пр.	КСР		
1.	Процессы и аппараты химических технологий	288	116	60	56	-	-	172	Кандидатский экзамен по дисциплине

### 3.2. Содержание дисциплины

#### 3.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа
		Лек.	Лаб.	Пр.	КСР	
1	Гидромеханические процессы и аппараты	9	8	-	-	25
2	Механические процессы	9	8	-	-	25
3	Тепловые процессы и аппараты	9	8	-	-	25
4	Массообменные процессы	9	8	-	-	25

5	Разделение жидких и газовых систем	9	8	-	-	24
6	Макрокинетика химических процессов	8	8	-	-	24
7	Механические процессы в химической технологии	7	8			24

### 3.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Трудоемкость (в часах)	Форма проведения занятий
1.	Гидромеханические процессы и аппараты	<p>Теоретические основы гидромеханических процессов.</p> <p>Движение твердых частиц в сплошных средах. Анализ сил, действующих на твердую частицу в жидкости.</p> <p>Скорости свободного осаждения шарообразных частиц и частиц произвольной формы. Скорость стесненного осаждения. Расчет скорости осаждения твердых частиц в полях массовых сил различной физической природы.</p> <p>Гидродинамика неподвижных и псевдооживленных зернистых слоев.</p> <p>Гидродинамические основы расчета аппаратов химической технологии с зернистыми слоями.</p> <p>Движение капель и газовых пузырей при различных числах Re.</p> <p>Обтекание несферических капель. Капля в сдвиговом потоке. Стесненное обтекание капель.</p> <p>Дробление капель, коагуляция капель.</p> <p>Экспериментальные методы исследования гидромеханики одно- и многофазных сред в аппаратах химической технологии.</p> <p>Разделение неоднородных систем в поле силы тяжести.</p> <p>Разделение в поле центробежных (инерционных) сил.</p> <p>Перемешивание в жидких средах.</p> <p>Гидромеханические методы классификации твердых частиц.</p>	42	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта
2.	Механические процессы	<p>Общая характеристика механических процессов. Области их применения в химической технологии.</p> <p>Виды измельчения, методы измельчения, схемы организации процесса измельчения.</p> <p>Поверхностная и объемная теории измельчения.</p> <p>Кинетика измельчения. Уравнение кинетики с одним, двумя параметрами, уравнение кинетики измельчения. Вероятностные подходы к расчету измельчения. Закономерности измельчения двухкомпонентных смесей. Расчет основных параметров машин для проведения процессов измельчения (числа оборотов, производительности, потребляемой мощности и т.д.).</p> <p>Пути повышения производительности и эффективности измельчения.</p> <p>Грохочение. Конструкции грохотов.</p>	42	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта

3.	Тепловые процессы и аппараты	<p>Теоретические основы теплообменных процессов.</p> <p>Математическая постановка и решение задачи о нестационарном переносе теплоты в твердых телах. Время прогрева твердого тела, уравнение конвективного переноса теплоты с источниками тепла.</p> <p>Начальные и граничные условия. Коэффициент теплоотдачи. Уравнение Фурье-Кирхгофа.</p> <p>Математическая постановка и решение задачи о переносе теплоты при вынужденном движении жидкостей (газов) в трубах.</p> <p>Математическая постановка и решение задачи о переносе теплоты при естественной конвекции.</p> <p>Теплообмен между жидкостью (газом) и поверхностью.</p> <p>Безразмерная форма уравнения переноса теплоты и оценки порядка его членов. Толщина теплового пограничного слоя.</p> <p>Представление решения уравнения переноса теплоты в критериальной форме. Некоторые эмпирические соотношения для расчета коэффициентов теплоотдачи при сохранении агрегатного состояния теплоносителя.</p> <p>Теплоотдача с изменением агрегатного состояния теплоносителя. Кипение жидкостей. Конденсация пара.</p> <p>Основы переноса теплоты излучением.</p> <p>Теплоотдача при одновременном действии механизмов конвекции и излучения.</p> <p>Теплообмен между пленкой жидкости и газовым потоком. Теплообмен сплошных сред с дисперсными средами.</p> <p>Теплообмен между твердой частицей и обтекающим ее потоком жидкости (газа).</p> <p>Теплообмен в дисперсных средах газ-твердое тело: в стационарном, движущемся, псевдооживленном, фонтанирующем слоях.</p> <p>Теплообмен между дисперсной средой и твердой поверхностью.</p> <p>Методы интенсификации процессов теплоотдачи.</p> <p>Расчет основных и оптимальных режимов работы теплообменников при их проектировании; использование ЭВМ.</p>	42	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта
4.	Массообменные процессы	<p>Классификация массообменных процессов химической технологии, как методов разделения многокомпонентных систем. Роль массообменных процессов в решении задачи охраны окружающей среды.</p> <p>Общие сведения о процессе переноса массы.</p> <p>Основные понятия. Механизмы переноса.</p> <p>Общие уравнения переноса вещества в многофазных многокомпонентных средах, начальные и граничные условия. Замыкающие соотношения.</p> <p>Наложение замыкающих соотношений методами многокомпонентных сред, начальные и граничные условия.</p>	42	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта

		<p>Замыкающие соотношения. Наложение замыкающих соотношений методами термодинамики необратимых процессов.</p> <p>Существующие подходы к описанию массообменных процессов в дисперсных системах, основанные на рассмотрении элементарных актов массообмена.</p> <p>Применение моделей структуры потоков при моделировании процессов переноса вещества в многофазных средах.</p> <p>Основные теории массообмена (теория диффузионного пограничного слоя, двухпленочная теория, теория обновления поверхности и т.д.).</p> <p>Инженерные методы расчета массообменных процессов и аппаратов химической технологии.</p> <p>Расчет размеров массообменных аппаратов с непрерывным контактом фаз на основе коэффициентов массопередачи, высоты единицы переноса (ВЕР), высоты эквивалентной теоретической тарелки (ВЭТТ).</p> <p>Массообменные процессы с подвижной границей раздела фаз.</p> <p>Основные термодинамические соотношения, описывающие равновесное состояние фаз в многокомпонентных системах.</p> <p>Равновесие жидкость-пар в многокомпонентных и бинарных системах. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Законы Коновалова и Вревского. Равновесие жидкость-пар идеальных смесей. Закон Рауля.</p> <p>Расчет равновесия неидеальных смесей в системе жидкость-пар. Константа фазового равновесия, летучесть, их связь с коэффициентами активности.</p> <p>Уравнение Вильсона, БВР и др.</p> <p>Равновесие в системах жидкость-газ. Закон Генри. Равновесие в многокомпонентных системах. Равновесие в системах с химическим взаимодействием.</p> <p>Равновесие в системах жидкость-жидкость.</p> <p>Коэффициент распределения, коэффициент селективности, их расчет по величинам коэффициентов активности.</p> <p>Массообменные процессы в системах газ (пар)-жидкость.</p> <p>Массообмен одиночного пузыря газа (пара) с окружающей жидкостью при малых числах <math>Re</math>.</p> <p>Массообмен радиально пульсирующего и растущего пузырей с окружающим потоком жидкости.</p> <p>Влияние ПАВ, поверхностного натяжения (конвекция Марангони), электромагнитного поля и т.д. на массообмен между одиночным пузырем и окружающей жидкостью. Массообмен между пузырем и жидкостью в стесненных условиях обтекания.</p> <p>Массообмен в пленках жидкости, в струях газа и жидкости.</p>		
--	--	--	--	--

		<p>Массообмен в двухфазных системах с химическим взаимодействием. Массообмен в элементе аппарата с насадкой, а также на тарелках при различных гидродинамических режимах. Экспериментальные методы исследования массообменных процессов в системах газ (пар)-жидкость.</p> <p>Основные типы контактных устройств массообменных аппаратов для систем газ (пар)-жидкость.</p>		
5.	Разделение жидких и газовых систем			
5.1.	Адсорбция	<p>Общие сведения о процессе и области его применения. Основные промышленные адсорбенты, их структура и свойства. Равновесие при адсорбции. Изотермы адсорбции. Материальный баланс адсорбции. Кинетика адсорбции. Динамика равновесной и неравновесной адсорбции. Расчет адсорберов. Десорбция, способы ее проведения и расчета. Схема проведения периодического и непрерывного процесса адсорбции. Ионный обмен.</p>	9	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта
5.2.	Абсорбция	<p>Общие сведения о процессе и области его применения. Равновесие при абсорбции. Закон Генри. Материальный баланс абсорбции. Уравнение линии рабочих концентраций. Минимальный и оптимальный удельные расходы абсорбента. Неизотермическая абсорбция. Многокомпонентная абсорбция. Абсорбция, сопровождающаяся химической реакцией. Десорбция. Методы проведения десорбции абсорбента. Принципиальные схемы абсорбционно-десорбционных установок. Конструкции абсорберов. Классификация. Пленочные и насадочные колонны (виды насадок, их характеристики). Выбор насадки. Тарельчатые колонны с организованным и неорганизованным слоем насадки. Выбор конструкции тарелки. Абсорберы с разбрызгиванием жидкости. Сравнительная характеристика абсорберов и тенденции их совершенствования.</p>	8	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта
5.3.	Ректификация	<p>Принцип ректификации. Схема установок периодической и непрерывной ректификации. Материальный баланс непрерывной ректификации бинарных смесей. Уравнение линии рабочих концентраций укрепляющей и исчерпывающей частей ректификационной колонны. Тепловой баланс ректификационной колонны. Зависимость размеров колонны (высоты и диаметра) и расхода теплоты от величины флегмового числа. Совместный тепло- и массоперенос при ректификации. Современные аппараты для ректификации.</p>	8	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта
5.4.	Экстракция	<p>Основные понятия и принципы экстракционных процессов. Классы экстрагентов. Классификация экстракционных процессов. Закономерности межфазного распределения веществ в</p>	8	Лекции, лабораторные работы, самостоятел

		гетерогенных системах жидкость-жидкость. Экстракция в системе жидкость-твёрдое. Количественное описание экстракционных равновесий. Типы экстракционных реакций. Физическое распределение. Ионообменная экстракция. Экстракция по сольватному механизму. Экстракционные системы на основе ионных жидкостей. Экологически безопасные экстракционные системы. Кинетика экстракции. Аппаратурное оформление экстракционных процессов извлечения, разделения и очистки веществ.		ьная работа аспиранта
5.5.	Гибридные процессы на основе экстракции, ректификации, сорбции, хроматографии и кристаллизации	Физико-химические основы гибридных процессов разделения веществ. Основные принципы разработки гибридных процессов разделения веществ. Экстрактивная ректификация. Экстракционно-хроматографические процессы разделения веществ. Экстрактивная дистилляция. Экстракционно-пиролитический метод. Экстрактивная кристаллизация.	8	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта
6.	Макрокинетика химических процессов			
6.1.	Химические процессы	<p>Место химического процесса и химического реактора в иерархической структуре химического производства. Качественные и количественные критерии оценки эффективности химического процесса, протекающего в аппарате.</p> <p>Гомогенные химические процессы. Кинетические и термодинамические закономерности химических процессов. Особенности проведения сложных реакций. Влияние условий проведения процесса на степень превращения сырья, выход продукта. Пути и способы интенсификации гомогенных процессов.</p> <p>Понятие оптимальных температур для обратимых и необратимых химических процессов. Оборудование для проведения гомогенных процессов.</p> <p>Гетерогенные химические процессы. Понятие, основные особенности и стадии гетерогенного процесса. Наблюдаемая скорость химического превращения. Влияние внешних условий протекания процесса на наблюдаемую скорость превращения. Лимитирующая стадия. Области протекания гетерогенных процессов.</p> <p>Гетерогенный некаталитический процесс в системе «газ-твёрдое тело». Физические модели процесса. Их математическое описание. Способы определения лимитирующей стадии и пути интенсификации процесса. Типы реакторов для проведения процессов в системе «газ-твёрдое тело».</p> <p>Гетерогенный некаталитический процесс в системе «газ-жидкость». Физические модели процесса. Их математическое описание. Способы определения лимитирующей стадии и</p>	20	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта

		<p>пути интенсификации процесса. Типы реакторов для проведения процессов в системе «газ-жидкость».</p> <p>Каталитические процессы. Сущность, назначение катализа. Виды катализа. Гомогенный катализ и его особенности.</p> <p>Гетерогенный катализ. Стадии и области протекания гетерогенного каталитического процесса. Пути интенсификации гетерогенно-каталитических процессов. Основные технологические показатели и требования, предъявляемые к промышленным катализаторам. Состав и способы изготовления контактных масс. Типы реакторов для проведения гетерогенно-каталитических процессов.</p>		
6.2.	Химические реакторы	<p>Классификация реакторов. Требования, предъявляемые к химическому реактору.</p> <p>Материальный баланс реакторов в зависимости от стационарности процесса и гидродинамики потока: реактора идеального смешения непрерывного действия, реактора идеального смешения периодического действия и реактора идеального вытеснения. Расчет объема реакторов непрерывного и периодического действия. Сравнение эффективности работы и выбор реакторов, описываемых различными моделями.</p> <p>Каскад реакторов идеального смешения непрерывного действия: характеристика, назначение, уравнение материального баланса. Расчет объема КРИС-Н.</p> <p>Неизотермические процессы в химических реакторах. Классификация процессов в реакторах по тепловому режиму. Математическое описание процессов в реакторах смешения и вытеснения с различными тепловыми режимами работы.</p> <p>Анализ адиабатического режима работы реактора на примере РИС-Н. Понятие тепловой устойчивости работы химического реактора. Способы повышения степени превращения реагентов в случае проведения реакции в адиабатическом РИС-Н. Способы поддержания оптимального температурного режима проведения химических процессов.</p> <p>Реальные химические реакторы. Причины отклонения от идеальности. Модели реальных реакторов. Функции распределения времени пребывания в проточных реакторах и описание на их основе работы реальных реакторов.</p>	20	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта
7.	Механические процессы в химической технологии			
7.1.	Тонкое измельчение	<p>Классификация частиц по дисперсности. Законы тонкого измельчения частиц (Кика и Бонда). Удельные затраты энергии на измельчение в зависимости от среднего размера частиц. Мельницы для сухого и мокрого тонкого и сверхтонкого измельчения. Подходы к расчету</p>	13	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта

		грансостава продуктов измельчения и классификации.		
7.2.	Механоактивация	Способы получения наноразмерных частиц. Свойства наноразмерных частиц. Понятие механической активации твердой фазы. Дефекты и дефектная структура твердых частиц при снятии механических напряжений. Основные параметры механохимических процессов. Механохимический синтез.	13	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта
7.3.	Процессы и оборудование совмещенных процессов	Машины и аппараты для механохимической активации и синтеза. Совмещенные процессы. Оборудование комбинированного принципа работы. Методы расчета оборудования при проведении совмещенных процессов.	13	Лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа аспиранта

### 3.2.3. Самостоятельная работа

Рабочей программой дисциплины Процессы и аппараты химических технологий предусмотрена самостоятельная работа аспиранта.

Самостоятельная работа распределяется по видам учебных занятий следующим образом:

- проработка лекционного материала по конспекту и учебной литературе;
- проработка актуальных вопросов, чтение и конспектирование первоисточников.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

### 3.2.4. Образовательные технологии

Основными образовательными технологиями, используемыми при реализации учебной работы, являются лекции, семинары ведущих отечественных и зарубежных ученых и консультации с преподавателями; проведение практических работ, участие обучающихся в научной работе и выполнение исследовательских проектов.

## 4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

### 4.1. Текущий контроль успеваемости

Основной контроль знаний осуществляется в процессе участия в лекционных и лабораторных занятиях.

Текущий контроль проводится в форме вопроса-ответа в рамках участия обучающихся в дискуссиях и различных мероприятиях, осуществляющим преподавателем, ведущим дисциплину.

### ПРИМЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ НА ЗАНЯТИЯХ:

Вопросы текущего занятия № ...

1. Гидродинамика двухфазных течений в системах газ-жидкость.
2. Гидродинамика двухфазных течений в системах жидкость-жидкость.

3. Разделение суспензий методом отстаивания: закономерности процесса и аппаратное оформление.
4. Методы разделения эмульсий, их аппаратное оформление и расчет.
5. Методы разделения суспензий в поле центробежных сил, их аппаратное оформление и расчет.
6. Аппаратное оформление и методы расчета процесса перемешивания жидких сред.
7. Мокрая очистка газов от пыли: аппаратное оформление и расчет.
8. Математическое описание переноса теплоты теплопроводностью. Краевые условия задач теплопроводности.
9. Математические модели рекуперативных теплообменников.
10. Конструкции рекуперативных теплообменников.
11. Регенеративные теплообменники: конструкции и расчет.
12. Смесительные теплообменники: конструкции и расчет.
13. Способы подвода теплоты в промышленной химической аппаратуре.
14. Методы охлаждения в промышленной химической аппаратуре.
15. Абсорбция: закономерности процесса и области ее промышленного применения.
16. Аппаратное оформление абсорбционно-десорбционных процессов.
17. Абсорбция, сопровождающаяся химической реакцией в жидкой фазе: методы расчета.
18. Экстракция в системе жидкость-жидкость: закономерности процесса и области ее промышленного применения.
19. Аппаратное оформление процесса экстракции.
20. Моделирование процесса сушки капиллярно-пористых материалов.

#### Тестовые задания

1. Какой критерий характеризует режим движения жидкости (одиночный выбор):
  - a) Рейнольдса;
  - b) Эйлера;
  - c) Фруда;
  - d) гомохронности
2. Что характеризует критерий гомохронности (одиночный выбор):
  - a) отношение сил давления и сил инерции в потоке;
  - b) отношения сил инерции и сил тяжести в потоке;
  - c) отношения сил инерции и сил вязкого трения в потоке, характеризует гидродинамический режим движения жидкости;
  - d) изменение скорости потока в пространстве и времени при неустановившемся движении жидкости.
3. Что характеризует критерий Эйлера (одиночный выбор):
  - a) отношение сил давления и сил инерции в потоке;
  - b) отношения сил инерции и сил тяжести в потоке;
  - c) отношения сил инерции и сил вязкого трения в потоке;
  - d) изменение скорости потока в пространстве и времени при неустановившемся движении жидкости?
4. Что характеризует критерий Рейнольдса (одиночный выбор):
  - a) соотношение силы инерции и силы вязкостного трения;
  - b) соотношение силы веса и силы инерции;
  - c) соотношение силы инерции и силы давления;
  - d) соотношение силы веса и силы давления?
5. Дайте определение естественной конвекции (одиночный выбор):
  - a) перенос теплоты с помощью электромагнитных волн, обусловленных только температурой и оптическими свойствами среды;
  - b) перенос тепла вследствие беспорядочного (теплого) движения микрочастиц, непосредственно соприкасающихся друг с другом;
  - c) перенос теплоты за счет перемещения потоков жидкости или газа происходящего вследствие затраты механической энергии;

d) перенос теплоты за счет перемещения жидкости или газа, вызванного разностью плотностей в различных точках пространства вследствие различия температур.

6. Что характеризует критерий Нуссельта (одиночный выбор):

a) характеризует подобие процессов теплопереноса на границе между стенкой и потоком жидкости;

b) характеризует соотношение сил вязкого трения и подъемной силы, описывает режим свободного движения теплоносителя;

c) характеризует физико-химические свойства теплоносителя и является мерой подобия температурных и скоростных полей в потоке;

d) характеризует соотношение сил тяжести и сил вязкого трения в потоке

7. Что характеризует критерий Прандтля (одиночный выбор):

a) характеризует подобие процессов теплопереноса на границе между стенкой и потоком жидкости;

b) характеризует подобия неустановившихся процессов теплообмена;

c) характеризует физико-химические свойства теплоносителя и является мерой подобия температурных и скоростных полей в потоке;

d) характеризует соотношение сил тяжести и сил вязкого трения в потоке

8. Что характеризует критерий Фурье (одиночный выбор):

a) характеризует подобие процессов теплопереноса на границе между стенкой и потоком жидкости;

b) характеризует подобия неустановившихся процессов теплообмена;

c) характеризует физико-химические свойства теплоносителя и является мерой подобия температурных и скоростных полей в потоке;

d) характеризует соотношение сил тяжести и сил вязкого трения в потоке

9. Что характеризует критерий Грасгофа (одиночный выбор):

a) характеризует подобие процессов теплопереноса на границе между стенкой и потоком жидкости;

b) характеризует подобия неустановившихся процессов теплообмена;

c) характеризует физико-химические свойства теплоносителя и является мерой подобия температурных и скоростных полей в потоке;

d) характеризует соотношение сил вязкого трения и подъемной силы, описывает режим свободного движения теплоносителя

10. Как называется величина, показывающая какое количество вещества диффундирует в единицу времени через единицу поверхности при градиенте концентрации, равном единице (одиночный выбор):

a) коэффициент массоотдачи;

b) коэффициент молекулярной диффузии;

c) коэффициент массопередачи;

d) коэффициент распределения?

11. Что характеризует диффузионный критерий Фурье (одиночный выбор):

a) характеризует физические свойства фазы;

b) характеризует подобие неустановившихся процессов массообмена;

c) характеризует массоотдачу на границе раздела фаз;

d) является мерой соотношения количества вещества, переносимого в потоке за счет конвекции, к количеству вещества, переносимому в этом же потоке за счет молекулярной диффузии?

12. Что характеризует диффузионный критерий Нуссельта (одиночный выбор):

a) характеризует физические свойства фазы;

b) характеризует подобие неустановившихся процессов массообмена;

c) характеризует массоотдачу на границе раздела фаз;

d) является мерой соотношения количества вещества, переносимого в потоке за счет конвекции, к количеству вещества, переносимому в этом же потоке за счет молекулярной диффузии?

13. Что характеризует диффузионный критерий Прандтля (одиночный выбор):

a) характеризует физические свойства фазы;

b) характеризует подобие неустановившихся процессов массообмена;

- с) характеризует массоотдачу на границе раздела фаз;
  - д) является мерой соотношения количества вещества, переносимого в потоке за счет конвекции, к количеству вещества, переносимому в этом же потоке за счет молекулярной диффузии?
14. Что такое турбулентная диффузия (одиночный выбор):
- а) процесс переноса распределяемого вещества, обусловленный беспорядочным движением микрочастиц;
  - б) конвективный перенос вещества под действием турбулентных пульсаций;
  - с) процесс переноса вещества за счет перемещения его макроскопических объемов, обусловленный скоростью движущегося потока;
  - д) процесс переноса вещества из ядра потока к границе раздела фаз или от границы раздела фаз в ядро потока.
15. Что характеризует диффузионный критерий Пекле (одиночный выбор):
- а) характеризует физические свойства фазы;
  - б) характеризует подобие неустановившихся процессов массообмена;
  - с) характеризует массоотдачу на границе раздела фаз;
  - д) является мерой соотношения количества вещества, переносимого в потоке за счет конвекции, к количеству вещества, переносимому в этом же потоке за счет молекулярной диффузии.
16. Как называется величина, показывающая какое количество вещества переносится из одной фазы в другую фазу через единицу поверхности контакта фаз в единицу времени при движущей силе массопередачи, равной единице (одиночный выбор):
- а) коэффициент массоотдачи;
  - б) коэффициент молекулярной диффузии;
  - с) коэффициент массопередачи;
  - д) коэффициент распределения.

#### Вопросы текущего занятия № ...

1. Что такое адсорбция и ее отличие от процесса абсорбции?
2. Твердые адсорбенты, основные их свойства.
3. Равновесие при адсорбции.
4. Изотермы адсорбции.
5. Понятие степени отработки адсорбенты.
6. Послойная фронтальная отработка слоя адсорбента.
7. Массопередача при адсорбции.
8. Что такое объемный коэффициент массопередачи.
9. Десорбция. Ее цели.
10. Десорбирующие агенты.
11. Что такое динамический пар при десорбции.
12. Адсорберы с неподвижным слоем адсорбента.
13. Адсорберы с движущимся слоем поглотителя.
14. Адсорберы с псевдооживленным слоем адсорбента.
15. Подходы к расчету высоты адсорбера.
16. Расчет расхода адсорбента.
17. Ионнообменные процессы. Общие сведения.
18. Основные типы ионоанитов. Области применения.
19. Понятия абсорбции и хемосорбции.
20. Что такое коэффициент или константа Генри?
21. Что такое константа фазового равновесия?
22. Колпачковые конструкции тарелок абсорбера.
23. Ситчатые тарелки. Область применения.
24. Принцип работы насадочных колонн.
25. Принцип работы тарельчатых колонн.
26. Распыливающие абсорберы. Привести два примера.
27. Конструкции брызгоуловителей.
28. Число степеней свободы в процессе разделения.
29. Что такое идеальные смеси?

30. Простая перегонка. Ее недостатки.
31. Какая часть ректификационной колонны называется «укрепляющей»?
32. Какая часть ректификационной колонны называется «исчерпывающей»?
33. Дефлегматор, его назначение.
34. Материальный баланс ректификационной колонны.
35. Что такое флегмовое число?
36. Расчет минимального флегмового числа.
37. Что такое реальное флегмовое число?
38. Что такое азеотропная ректификация?
39. Подход к расчету высоты ректификационной колонны.

Вопросы текущего занятия № ...

1. Технологические критерии оценки эффективности протекания процесса в химическом реакторе: степень превращения реагента, выход продукта, связь между ними.
2. Технологические критерии оценки эффективности процесса, протекающего в химическом реакторе: селективность процесса получения продукта, расходные коэффициенты по сырью. Связь селективности со степенью превращения и выходом продукта.
3. Уровень химического процесса и уровень химического реактора в иерархической структуре химического производства.
4. Общая характеристика гомогенных процессов. Аппаратурное оформление гомогенных некаталитических процессов.
5. Гомогенные некаталитические процессы: термодинамические закономерности влияния температуры на степень превращения реагента (выход продукта).
6. Гомогенные некаталитические процессы: термодинамические закономерности влияния давления на степень превращения реагента (выход продукта).
7. Гомогенные некаталитические процессы: термодинамические закономерности влияния концентраций реагентов, продуктов и инертных примесей на равновесие реакций.
8. Гетерогенные процессы: общая характеристика и особенности. Аппаратурное оформление гетерогенных некаталитических процессов в системе «газ-твердое тело», «газ-жидкость».
9. Кинетические закономерности гетерогенных процессов. Пути интенсификации гетерогенных процессов.
10. Гетерогенные некаталитические процессы «газ-твердое тело»: квазигомогенная модель, ее характеристика.
11. Гетерогенные некаталитические процессы в системе «газ-твердое тело»: модель с фронтальным перемещением зоны реакции, ее характеристика.
12. Гетерогенные некаталитические процессы в системе «газ-твердое тело»: вывод уравнения скорости процесса, его анализ.
13. Гетерогенные некаталитические процессы «газ-твердое тело»: кинетические закономерности, пути интенсификации, их теоретическое обоснование.
14. Гетерогенные некаталитические процессы в системе «газ-твердое тело»: лимитирующая стадия, способы ее определения.
15. Гетерогенные некаталитические процессы в системе «газ-жидкость»: пленочная модель, ее характеристика.
16. Гетерогенные некаталитические процессы «газ-жидкость»: кинетические закономерности, пути интенсификации, их теоретическое обоснование.
17. Промышленный катализ: сущность, механизм, назначение.
18. Виды каталитических процессов, их характеристика.
19. Стадии гетерогенно-каталитического процесса на твердом катализаторе.
20. Технологические характеристики твердых катализаторов.
21. Состав и способы изготовления контактных масс. Аппаратурное оформление гетерогенных каталитических процессов.
22. Классификация химических реакторов.
23. Моделирование химических реакторов: понятие об элементарном объеме и элементарном промежутке времени, уравнение материального баланса химического реактора (в общем виде) и его анализ.

24. Общая характеристика идеальных моделей химических реакторов (допущения об идеальности, характер изменения параметров в зависимости от объема реактора и от времени).
25. Уравнение материального баланса РИС-Н. Вывод характеристического уравнения.
26. Уравнение материального баланса РИС-П. Вывод характеристического уравнения.
27. Уравнение материального баланса РИВ. Вывод характеристического уравнения.
28. КРИС-Н: характеристика, назначение. Уравнение материального баланса КРИС-Н.
29. Графический метод расчета КРИС-Н.
30. Аналитический метод расчета КРИС-Н.
31. Методика расчета объема РИС-П.
32. Сравнение эффективности работы химических реакторов, описываемых различными моделями (по объему и интенсивности работы).
33. Сравнение эффективности работы химических реакторов, описываемых различными моделями (по селективности протекания целевой реакции).
34. Сравнение эффективности работы химических реакторов, описываемых различными моделями (по выходу продукта).
35. Уравнение теплового баланса химического реактора в общем виде, его анализ. Тепловые режимы работы реакторов.
36. Математическое описание РИС-Н в различных тепловых режимах.
37. Математическое описание РИС-П в различных тепловых режимах.
38. Математическое описание РИВ в различных тепловых режимах.
39. Тепловая устойчивость работы реакторов (на примере адиабатического РИС-Н).
40. Способы повышения степени превращения реагентов в случае проведения процесса в адиабатическом РИС-Н.
41. Способы поддержания оптимального температурного режима в случае протекания обратимой экзотермической реакции.
42. Причины отклонения от идеальности в реальных реакторах. Характеристика и уравнение материального баланса однопараметрической диффузионной модели.
43. Причины отклонения от идеальности в реальных реакторах. Характеристика ячеечной модели.
44. Интегральная и дифференциальная функции распределения времени пребывания в идеальных и реальных проточных реакторах.
45. Сущность экспериментального метода изучения функций распределения путем исследования «кривых отклика».

#### Вопросы текущего занятия № ...

1. Достоинства и недостатки щековых дробилок.
2. Принцип работы конусных дробилок.
3. Валковые дробилки. Приводы дробилок.
4. Расчет производительности валковых дробилок. Условие захвата крупных частиц в валки.
5. Молотковые дробилки. Принцип работы. Устройство.
6. Расчет потребляемой мощности молотковыми дробилками.
7. Роторные дробилки. Их отличие от молотковых дробилок.
8. Достоинства и недостатки молотковых роторных дробилок.
9. Принципиальное устройство ножевых дробилок. Область их применения.
10. Зависимость удельных затрат энергии (квт·ч/т) от конечного размера измельчаемых материалов.
11. Классификация мельниц.
12. Основные типы мельниц сжатием, раздавливанием и истиранием.
13. Достоинства и недостатки мельниц с шаровой загрузкой (с мелющими шарами).
14. Принцип работы многокамерной шаровой мельницы.
15. Основные факторы, влияющие на производительность шаровых мельниц.
16. Область применения шарокольцевых мельниц.
17. Область применения вибрационных мельниц.
18. Принцип работы центробежно-планетарных мельниц.
19. Основные типы мельниц, измельчающих материалы свободным или стесненным ударом.

20. Перспективные типы мельниц ударно-отражательного принципа действия.
21. Закономерности конструирования многоступенчатых мельниц ударно-отражательного принципа действия.
22. Понятия распределительной и избирательной (вероятности разрушения) функций при расчете гранулометрического состава продуктов измельчения.
23. Мельницы ударно-отражательного принципа действия со встроенными классификаторами.
24. Устройство О-образной струйной мельницы.
25. Устройство струйной мельницы с плоской размольной камерой.
26. Струйные мельницы с псевдооживленным слоем.
27. Достоинства и недостатки струйных мельниц.
28. Основные типы мельниц «мокрого» помола.
29. Кавитационно-коллоидные мельницы. Принцип работы. Область применения.
30. Почему практически невозможно получить продукты, содержащие 100 % частиц с размерами менее 1 мкм (наноразмеры) в мельницах «сухого» помола?
31. Минимальный размер частиц, достигаемый при измельчении.
32. Назовите основное условие, которое необходимо реализовать в любой мельнице с целью повышения эффективности ее работы.
33. Понятие граничного размера в пневматических и в центробежно-пневматических классификаторах.
34. Основные типы пневматических классификаторов.
35. Центробежно-пневматические классификаторы. Основные типы.
36. Роторные центробежно-пневматические классификаторы.
37. Принципы разделения полидисперсных порошков в центробежно-пневматических классификаторах.
38. Смесители порошкообразных материалов периодического действия. Основные типы.
39. Кинетика смешения порошков в смесителях периодического действия.
40. Напишите выражение для расчета критерия качества смеси – коэффициента вариации.
41. Циркуляционные смесители. Основные типы.
42. Барабанные смесители. Основные типы.
43. Смесители для смешения вязких и липких материалов.
44. Смесители непрерывного действия. Достоинства и недостатки.

#### 4.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины

Промежуточная аттестация по дисциплине Процессы и аппараты химических технологий проводится на 3 курсе в форме экзамена (кандидатского экзамена по дисциплине), предусматривающего ответы на вопросы.

Вопросы для подготовки к сдаче экзамена (кандидатского экзамена) по дисциплине Процессы и аппараты химических технологий приведены в Программе кандидатского экзамена по Процессам и аппаратам химических технологий.

С целью оценки уровня знаний на экзамене (кандидатском экзамене) используется 5-балльная система в соответствии с критериями, представленными в таблице:

#### Критерии оценки

«Отлично»	Аспирант показал творческое отношение к обучению, в совершенстве овладел всеми вопросами дисциплины, показал все требуемые умения и навыки
«Хорошо»	Аспирант овладел всеми вопросами дисциплины, показал основные умения и навыки
«Удовлетворительно»	Аспирант имеет недостаточно глубокие знания по разделам дисциплины, показал не все основные умения и навыки

«Неудовлетворительно»	Аспирант имеет проблемы по отдельным разделам дисциплины и не владеет основными умениями и навыками
-----------------------	---

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 5.1. Рекомендуемая литература

При изучении дисциплины аспиранты используют основную и дополнительную литературу, рекомендованную преподавателем. Кроме того, преподаватель может рекомендовать аспиранту ознакомиться с дополнительными материалами методического характера.

Название электронного или печатного ресурса (основная или дополнительная)	Тип	Кол-во экз.
<b>Основная литература:</b>		
А.Т. Касаткин. Основные процессы и аппараты химической технологии.	печ.	2
Тимофеев В.С., Серафимов Л.А. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. М.: «Высшая школа», 2003	печ.	1
Ульянов Б.А., Кулов Н.Н., Бадеников А.В. Процессы переноса в химической технологии. «Изд-во Ангарской государств.технич.академии» 2015г.-337с.	печ.	2
<b>Дополнительная литература:</b>		
Шервуд Т., Пигфорд Р., Уилки Ч. Массопередача. Пер. с англ. М.: «Химия», 1982.-696 с.	печ.	2
Кафаров В.В. Основы массопередачи. М.: «Высшая школа», 1979.	печ.	2
Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. М.: «Высшаяшкола», 1991.	печ.	1
Розен А. М. Теория разделения изотопов в колоннах. М.: Атомиздат, 1960.	печ.	2
Лейтес И.Л., Сосна М.Х., Семенов В.П. Теория и практика химическойэнерготехнологии. М.: « Химия», 1988.	печ.	1
Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов. Пер. с англ.- М: «Химия», 1969.-624с.	печ.	1
Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. Справочное пособие. Пер. с англ.- 3-е изд. – Л.: «Химия», 1982.-592 с.	печ.	1

### 5.2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. Федеральный портал «Российское образование» - <http://www.edu.ru/>;
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - <https://www.elibrary.ru/>.

## 6. Требования к материально-техническому обеспечению программы

ИОНХ РАН располагает материально-технической базой, соответствующей требованиям материального обеспечения дисциплины.

Аудитории для проведения занятий оснащены компьютерами и проекторами для показа мультимедийных презентаций. Компьютеры, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет и подключенные к международным и российским научным базам данных и электронной библиотеке с основными международными научными журналами.

Лаборатории оснащены современными приборами для синтеза неорганических соединений и материалов: стеклянная и пластиковая химическая посуда отечественного и иностранного производства, спектральное и лабораторное оборудование для рутинных измерений, реакционные установки, вакуумные системы, лабораторные печи, хроматографы.

Материально-техническая база соответствует действующим противопожарным правилам и нормам и обеспечивает проведение всех видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки, практической и научно-исследовательской работы аспирантов.

**Автор(ы) программы:**

Зам.директора, зав.лаб. ИОНХ РАН  
чл.-корр.РАН

Зав. Учебным центром

Two handwritten signatures in blue ink are present. The top signature is larger and more stylized, while the bottom one is smaller and more compact.

А.А. Вошкин

А.Н. Терехова