

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 29.06.2023 11:20:47  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Врио проректора по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В. Пекаревский  
« 24 » мая 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Гетерогенные процессы технологии неорганических веществ**

Направление подготовки

**18.03.01 Химическая технология**

Направленность программы бакалавриата

**«Химическая технология неорганических веществ»**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **химии веществ и материалов**

Кафедра **общей химической технологии и катализа**

Санкт-Петербург

2021

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, инициалы, фамилия
Доцент		доцент С.В. Логинов

Рабочая программа дисциплины «Гетерогенные процессы технологии неорганических веществ» обсуждена на заседании кафедры Общей химической технологии и катализа протокол от «13» мая 2021 г. № 9

Заведующий кафедрой

А.Ю. Постнов

Одобрено учебно-методической комиссией факультета Химии веществ и материалов протокол от «20» мая 2021 г. № 8

Председатель

С.Г. Изотова

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология»		М.В. Рутто
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н. Денисенко





## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	05
3. Объем дисциплины .....	05
4. Содержание дисциплины .....	06
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	06
4.2. Занятия лекционного типа.....	06
4.3. Занятия семинарского типа .....	08
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	08
4.3.2. Лабораторные занятия .....	09
4.4. Самостоятельная работа .....	09
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	10
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	10
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	10
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	11
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	11
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	12
10.1. Информационные технологии .....	12
10.2. Программное обеспечение .....	12
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	12
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	12
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.....	12
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

В результате для освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-1</b> Способен планировать мероприятия, направленные на улучшение технологических показателей, качества выпускаемой продукции, сокращение потерь, снижение операционных затрат при реализации химико-технологических процессов</p>	<p><b>ПК-1.3</b> Гетерогенные процессы в системе «газ-твердое» и «жидкость-твердое»</p>	<p><b>Знать:</b> – основные модели гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы, основы диффузионной кинетики; <b>Уметь:</b> – рассчитывать скорость гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы; <b>Владеть:</b> – навыками управления скоростью гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы.</p>
	<p><b>ПК-1.4</b> Гетерогенные процессы в системе «газ-жидкость»</p>	<p><b>Знать:</b> – основные модели физической и химической абсорбции; <b>Уметь:</b> – рассчитывать кинетические показатели процессов абсорбции и десорбции; <b>Владеть:</b> – навыками управления скоростью процессов абсорбции.</p>
	<p><b>ПК-1.5</b> Типовые гетерогенные процессы в технологии неорганических веществ</p>	<p><b>Знать:</b> – типовые технологические схемы и основное оборудование гетерогенных процессов технологии неорганических веществ; <b>Уметь:</b> – рассчитывать показатели эффективности функционирования типового оборудования и химико-технологических систем; <b>Владеть:</b> – навыками коррекции показателей эффективности функционирования типового оборудования гетерогенных процессов технологии неорганических веществ.</p>

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.03), и изучается на 3 курсе в 5 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Математика», «Общая и неорганическая химия», «Общая химическая технология», «Процессы и аппараты химической технологии», «Физическая химия». Полученные в процессе изучения дисциплины «Кинетика процессов технологии неорганических веществ» знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплин «Кинетика процессов технологии неорганических веществ», «Технологическое оборудование», «Научные основы катализа и адсорбции», «Технология катализаторов», «Технологическое оборудование», при прохождении производственной практики, а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, ЗЕ/академ. часов
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/академических часов)	<b>9/324</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>168</b>
занятия лекционного типа	72
занятия семинарского типа, в т.ч.:	90
семинары, практические занятия (в т.ч. на практическую подготовку)	36 (2)
лабораторные работы (в т.ч. на практическую подготовку)	54 (6)
курсовое проектирование (КР или КП)	–
КСР	6
другие виды контактной работы	–
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>120</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (К/р, реферат, РГР, эссе)	–
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	<b>Экзамен/36</b>

#### 4. Содержание дисциплины.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
1.	Общие закономерности протекания гетерогенных процессов	10	8	–	10	ПК-1	ПК-1.5
2.	Сорбционные гетерогенные процессы	6	–	8	10	ПК-1	ПК-1.5
3.	Система «газ-жидкость»	8	4	8	10	ПК-1	ПК-1.4
4.	Система «газ-твердое»	14	4	8	10	ПК-1	ПК-1.3
5.	Система «жидкость-твердое»	6	4	8	10	ПК-1	ПК-1.3
6.	Реакторы для гетерогенных процессов	8	8	–	20	ПК-1	ПК-1.5
7.	Температурные режимы гетерогенных процессов	8	4	–	20	ПК-1	ПК-1.5
8.	Гетерогенно-каталитические процессы	12	4	22	30	ПК-1	ПК-1.5

##### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p>Общие закономерности протекания гетерогенных процессов.</p> <p>Характеристика и классификация гетерогенных химико-технологических процессов. Этапы химико-технологических процессов. Степень превращения и селективность, их расчет. Взаимосвязь степени превращения, селективности и времени пребывания смеси в реакторе.</p> <p>Химическое равновесие в гетерогенных системах. Понятие о лимитирующей стадии гетерогенного процесса.</p> <p>Внешнедиффузионная, внутридиффузионная и кинетическая области протекания гетерогенного процесса. Влияние параметров на скорость сложного процесса в зависимости от области.</p>	10	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	<u>Сорбционные гетерогенные процессы.</u> Природа и виды адсорбентов. Натуральные и синтетические адсорбенты Адсорбционное и адсорбционно-химическое равновесия. Уравнения изотермы Ленгмюра и БЭТ.	6	ЛВ
3	<u>Система «газ-жидкость».</u> Абсорбция, десорбция, хемосорбция. Основные параметры, влияющие на растворимость газов. Статика и кинетика абсорбции. Движущая сила процесса. Области применения абсорбционных процессов в технологии неорганических веществ. Типовые реакторы для проведения процессов в системе «газ-жидкость».	8	ЛВ
4	<u>Система «газ-твёрдое».</u> Равновесие в системе «газ-твёрдое». Кинетика процессов с участием твёрдой и газовой фаз. Коэффициент массопередачи, движущая сила процесса, величина межфазной поверхности. Квазигомогенная модель, модель с невзаимодействующим ядром. Типы реакторов для процессов в системе «газ-твёрдое».	14	ЛВ
5	<u>Системы «жидкость-твёрдое».</u> Кристаллизация, стадии кристаллизации: пересыщение, зародышеобразование, рост кристаллов. Стабильное, метастабильное и лабильное состояние растворов. Влияние различных факторов на скорость зародышеобразования и роста кристаллов. Влияние примесей на кристаллизацию. Классификация методов разделения суспензий. Отстаивание. Центрифугирование. Фильтрование, скорость фильтрации. Обоснование выбора метода разделения суспензии. Классификация методов промывки осадков. Промывка вытеснением и разбавлением с использованием фильтров периодического и непрерывного действия.	6	ЛВ
6	<u>Реакторы для гетерогенных процессов.</u> Особенности устройства и расчёта реакторов гетерогенных процессов. Псевдооживленный слой. Гидродинамика и теплообмен в кипящем слое. Моделирование реактора кипящего слоя.	8	ЛВ
7	<u>Температурные режимы гетерогенных процессов.</u> Влияние температуры на гетерогенные процессы. Оптимальная температура, экономически рациональная температура. Однополочный реактор без теплообменных	8	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	устройств. Батарея однополочных реакторов. Многополочный реактор с охлаждением между полками. Трубчатые реакторы. Комбинированные реакторы (полочно-трубчатые). Реакторы поверхностного контакта.		
8	<u>Гетерогенно-каталитические процессы.</u> Структура и характеристики зернистого слоя катализатора. Динамика газовых потоков в зернистом слое. Гидравлические режимы движения реагентов. Оптимальные размеры и форма зерен катализатора. Влияние внешнего массо- и теплообмена на скорость каталитической реакции. Продольный и радиальный перенос вещества и тепла в слое катализатора. Внешняя теплоотдача в слое катализатора. Математическое описание химического процесса в слое катализатора. Критериальные зависимости для оценки коэффициентов переноса.	12	ЛВ

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку*	
1	Расчёт равновесного состава реакционной смеси в гетерогенных системе «газ-твёрдое»	8		КтСм
3	Расчёт материального баланса процесса абсорбции в насадочной колонне	4		КтСм
4	Расчёт времени полного разложения твёрдого материала	4		КтСм
5	Растворение фосфатного сырья кислотами. Влияние нормы и концентрации кислоты на полноту растворения и состав продуктов	4	2	КтСм
6	Расчет количества трубок для реактора заданной производительности.	8		КтСм
7	Расчёт реактора для эндотермического обжига	4		КтСм
8	Расчёт реактора для окисления диоксида серы с внешним теплообменом между полками	4		КтСм

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку*	
2	Исследование процесса адсорбции в статических и динамических условиях	8		КтСм
3	Моделирование процесса абсорбции в насадочной колонне и пенном аппарате	8		КтСм
4	Определение кинетических параметров процесса окисления твёрдого материала на основании экспериментальных данных	8	6	КтСм
5	Определение гигроскопичности минеральных удобрений и солей	8		КтСм
8	Каталитическое окисление диоксида серы	11		КтСм
8	Каталитическая паровая конверсия метана	11		КтСм

#### 4.4. Самостоятельная работа.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Методы определения лимитирующей стадии процесса. Способы увеличения скорости гетерогенного процесса	10	Письменный опрос
2	Методы осушки газовых смесей	10	Письменный опрос
3	Динамические методы проведения процесса абсорбции	10	Письменный опрос
4	Методы определения кинетических параметров процессов в системе «газ-твёрдое»	10	Письменный опрос
5	Методы разделения суспензий. Выбор метода промывки для конкретных осадков	10	Письменный опрос
6	Гетерогенные процессы в фонтанирующем слое твёрдого материала	20	Письменный опрос
7	Оптимизация работы реактора для окисления диоксида серы с внешним теплообменом между полками по технико-экономическим критериям	20	Письменный опрос
8	Гетерогенные процессы в технологии связанного азота	15	Письменный опрос
8	Производство водорода из различного углеводородного сырья	15	Письменный опрос

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению, размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена (5 семестр).

Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуется теоретическими вопросами для проверки знаний.

При сдаче экзамена обучающийся получает два вопроса из перечня вопросов (время подготовки к устному ответу – 45 минут).

Пример варианта вопросов на экзамене:

### **Вариант № 1**

1. Методы разделения суспензий.
2. Реакторы с псевдооживленным слоем материала.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе – оценка «удовлетворительно».

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.**

### **а) печатные издания:**

1. Общая химическая технология: учебник для химико-технологических специальностей вузов: В 2-х частях. Часть 1. Теоретические основы химической технологии / Под редакцией И.П. Мухленова. – 5-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2009. – 256 с. – ISBN 978-5-903034-78-9

2. Общая химическая технология: учебник для химико-технологических специальностей вузов: В 2-х частях. Часть 2. Важнейшие химические производства / Под редакцией И.П. Мухленова. – 5-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2009. – 263 с. – ISBN 978-5-903034-79-6

3. Чоркендорф, И. Современный катализ и химическая кинетика / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт; перевод с английского В.И. Ролдугина. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 501 с. – ISBN 978-5-91559-044-0

4. Пахомов, Н.А. Курс лекций по кинетике процессов технологии неорганических веществ: учебное пособие / Н.А. Пахомов, А.С. Григорьев, И.И. Торлопов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2020. – 93 с.

5. Логинов, С.В. Химическая технология неорганических веществ: учебное пособие / С.В. Логинов, Н.Н. Правдин, Ю.П. Удалов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2019. – 141 с.

#### **б) электронные учебные издания:**

6. Логинов, С.В. Химическая технология неорганических веществ: учебное пособие / С.В. Логинов, Н.Н. Правдин, Ю.П. Удалов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2019. – 141 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 01.04.2021). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

7. Пахомов, Н.А. Курс лекций по кинетике процессов технологии неорганических веществ: учебное пособие / Н.А. Пахомов, А.С. Григорьев, И.И. Торлопов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2020. – 93 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 01.04.2021). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

8. Управление химико-технологическим процессом. Расчеты термодинамических и кинетических показателей: учебное пособие / А.Ю. Постнов, О.А. Черемисина, С.А. Лаврищева, Ю.В. Александрова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2020. – 42 с. – // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 01.04.2021). Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

#### **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.**

Учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>;

Электронно-библиотечные системы:

– «Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;

– ЭБС «Лань» <https://e.lanbook.com/books/>.

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Все виды занятий по дисциплине «Гетерогенные процессы технологии неорганических веществ» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040–02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018–2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048–2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

СТО СПбГТИ 020–2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 016–2015. КС УКДВ. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов являются:

– плановость в организации учебной работы;

- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея знания по уже изученному материалу.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- взаимодействие с обучающимися посредством виртуальной среды обучения LMS Moodle.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Пакеты прикладных программ стандартного набора (LibreOffice, MathCAD).

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы.**

- справочно-поисковая система «Консультант-Плюс»;
- база данных Reaxys <https://www.reaxys.com>

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Кафедра Общей химической технологии и катализа оснащена необходимым научно-исследовательским оборудованием, измерительными и вычислительными комплексами и другим материально-техническим обеспечением, необходимым для полноценного лабораторных работ, существует возможность использования оборудования Центров коллективного пользования СПбГТИ(ТУ) и Лаборатории каталитических технологий. Компьютеры кафедры и аудиторий № 205, 209, 210 соединены в локальную вычислительную сеть с выходом в Интернет через сервер, подключенный к сети института.

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств**  
**для проведения промежуточной аттестации по дисциплине**  
**«Гетерогенные процессы технологии неорганических веществ»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
<b>ПК-1</b>	<b>Способен планировать мероприятия, направленные на улучшение технологических показателей, качества выпускаемой продукции, сокращение потерь, снижение операционных затрат при реализации химико-технологических процессов</b>	промежуточный



## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-1.3</b> Гетерогенные процессы в системе «газ-твердое» и «жидкость-твердое»	<b>Знает</b> основные модели гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы, основы диффузионной кинетики	Вопросы к экзамену № 1-11	С ошибками перечисляет основные модели гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы и основы диффузионной кинетики	Перечисляет основные модели гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы и основы диффузионной кинетики, без ошибок, но затрудняется привести примеры их практической реализации	Перечисляет основные модели гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы, основы диффузионной кинетики, приводит примеры их практической реализации
	<b>Умеет</b> рассчитывать скорость гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы	Вопросы к экзамену № 12-18	Определяет скорость гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы, но допускает ошибки	Определяет скорость гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы, но с наводящими вопросами	Правильно определяет скорость гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы
	<b>Владеет</b> навыками управления скоростью гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы	Вопросы к экзамену № 19-29	Имеет слабые навыки управления скоростью гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы	Демонстрирует навыки управления скоростью гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы, но допускает ошибки	Демонстрирует уверенные навыки управления скоростью гетерогенного процесса с участием твёрдой фазы
<b>ПК-1.4</b> Гетерогенные процессы в системе «газ-жидкость»	<b>Знает</b> основные модели физической и химической абсорбции	Вопросы к экзамену № 30-32	Неточно называет основные модели физической и химической абсорбции,	Перечисляет основные модели физической и химической абсорбции, но допускает незначительные ошибки	Перечисляет основные модели физической и химической абсорбции без ошибок
	<b>Умеет</b> рассчитывать кинетические показатели процессов абсорбции и десорбции	Вопросы к экзамену № 33-34	Определяет кинетические показатели процессов абсорбции и десорбции, но допускает ошибки	Определяет кинетические показатели процессов абсорбции и десорбции без ошибок, но не способен анализировать полученные результаты	Способен без ошибок определить кинетические показатели процессов абсорбции и десорбции, провести анализ полученных результатов

	<b>Владеет</b> навыками управления скоростью процессов абсорбции и десорбции	Вопросы к экзамену № 35-36	Имеет представление о методах управления скоростью процессов абсорбции и десорбции	С ошибками выбирает методы управления скоростью процессов абсорбции и десорбции	Демонстрирует хорошие навыки управления скоростью процессов абсорбции и десорбции
<b>ПК-1.5</b> Типовые гетерогенные процессы в технологии неорганических веществ	<b>Знает</b> типовые технологические схемы и основное оборудование гетерогенных процессов технологии неорганических веществ	Вопросы к экзамену № 37-41	Перечисляет неточно типовые технологические схемы и основное оборудование гетерогенных процессов технологии неорганических веществ	Перечисляет типовые технологические схемы и основное оборудование гетерогенных процессов технологии неорганических веществ, осуществляет выбор оптимального оборудования с помощью наводящих вопросов	Перечисляет типовые технологические схемы и основное оборудование гетерогенных процессов технологии неорганических веществ, правильно осуществляет выбор оптимального оборудования
	<b>Умеет</b> рассчитывать показатели эффективности функционирования типового оборудования и химико-технологических систем	Вопросы к экзамену № 42-49	Путается в показателях эффективности функционирования типового оборудования и химико-технологических систем	Определяет показатели эффективности функционирования типового оборудования и химико-технологических систем, но допускает небольшие ошибки	Определяет показатели эффективности функционирования типового оборудования и химико-технологических систем качественно и без ошибок
	<b>Владеет</b> навыками коррекции показателей эффективности функционирования типового оборудования гетерогенных процессов технологии неорганических веществ	Вопросы к экзамену № 50-80	Слабо ориентируется в способах коррекции показателей эффективности функционирования типового оборудования гетерогенных процессов технологии неорганических веществ	Демонстрирует с ошибками навыки коррекции показателей эффективности функционирования типового оборудования гетерогенных процессов технологии неорганических веществ	Демонстрирует навыки коррекции показателей эффективности функционирования типового оборудования гетерогенных процессов технологии неорганических веществ без ошибок

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ).

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена, шкала оценивания – балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»).

### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

#### 3.1 Типовые контрольные вопросы к экзамену

##### а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-1:

1. Адсорбция. Промышленные адсорбенты и их характеристики.
2. Пористая структура адсорбентов. Предельный объём сорбционного пространства.
3. Теория адсорбции Ленгмюра. Изотерма Ленгмюра.
4. Теория адсорбции БЭТ.
5. Квазигомогенная модель.
6. Модель с фронтальным перемещением зоны реакции (модель с не взаимодействующим ядром).
7. Кинетическая область процесса в системе «газ-твёрдое».
8. Внешнедиффузионная область процесса в системе «газ-твёрдое».
9. Внутريدиффузионная область процесса в системе «газ-твёрдое».
10. Модель «сжимающейся сферы».
11. Уравнение Ерофеева.
12. Лимитирующая стадия и её идентификация.
13. Уравнение Аррениуса.
14. Физический смысл предэкспоненциального множителя в уравнении Аррениуса.
15. Уравнение первого закона Фика.
16. Области протекания процесса в системе «газ-твёрдое».
17. Области протекания процесса в системе «жидкость-твёрдое».
18. Процессы в системе «газ-твёрдое», лимитируемые растворением газа в твёрдом веществе, диффузией растворённого газа в твёрдом веществе.
19. Микро- и макрокинетические параметры управления скоростью гетерогенного процесса.
20. Как зависит скорость процесса от температуры в кинетической области?
21. Как зависит скорость процесса от температуры в переходной области?
22. Как зависит скорость процесса от температуры в диффузионной области?
23. Как влияет размер обрабатываемого твёрдого материала на скорость гетерогенного процесса в кинетической области?
24. Как влияет размер обрабатываемого твёрдого материала на скорость гетерогенного процесса во внешнедиффузионной области?
25. Как влияет размер обрабатываемого твёрдого материала на скорость гетерогенного процесса во внутريدиффузионной области?
26. По известной зависимости скорости химико-технологического процесса от температуры определить область протекания химико-технологического процесса.
27. По характеру изменения скорости химико-технологического процесса от размера гранул катализатора определить область протекания химико-технологического процесса.
28. По характеру изменения скорости химико-технологического процесса от расхода реакционной определить область протекания химико-технологического процесса.
29. Для данного процесса предложить технологические приёмы, обеспечивающие приближение к кинетической области.
30. Физическая и химическая абсорбция. Десорбция.
31. Плёночная модель абсорбции.
32. Модель обновляющейся поверхности.
33. Равновесие при абсорбции.
34. Кинетические закономерности при абсорбции.
35. Влияние взаиморасположения потока реагентов на скорость массопередачи при абсорбции.
36. Влияние линейной скорости потоков реагентов на скорость массопередачи при абсорбции.

37. Прямоточные, противоточные и перекрестные технологические схемы.
38. Периодические, непрерывные и смешанные технологические схемы.
39. Насадочная колонна. Методы интенсификации работы насадочной колонны.
40. Пенный аппарат. Основные конструкционные особенности.
41. Сравнительная характеристика насадочной колонны и пенного аппарата.
42. Тепловые режимы работы реактора.
43. Температурные режимы работы реактора.
44. Изотермический температурный режим работы реактора.
45. Адиабатический температурный режим работы реактора.
46. Температурный режим работы реактора с частичной компенсацией теплового эффекта.
47. Принципы составления математической модели реактора.
48. Уравнение материального баланса химического реактора.
49. Тепловой баланс химического реактора.
50. Оптимальная технологическая температура.
51. Методы проведения процесса по линии оптимальных температур.
52. Оптимизация работы реактора по технологическим критериям.
53. Оптимизация работы реактора по экономическим критериям
54. Тепловая устойчивость химического реактора.
55. Как провести процесс абсорбции малорастворимого газа при небольшой его концентрации в газовой фазе при необходимости использовать поглощенный компонент в процессе дальнейшей переработки?
56. Факторы, способствующие увеличению скорости физического растворения.
57. Растворение с образованием новой твердой фазы. Возможные трудности и способы их преодоления.
58. Скорость кислотного разложения фосфата после энергичного начала падает и процесс прекращается, несмотря на достаточно высокую концентрацию кислоты в растворе. Чем это может быть обусловлено?
59. Каким образом может быть осуществлено выщелачивание целевого компонента из материала, содержащего в своем составе несколько растворимых компонентов?
60. Если при выпарке образуется вязкий концентрированный раствор или вязкая суспензия, какую схему многоступенчатой выпарной установки вы рекомендуете: прямоточную или противоточную? Почему?
61. Что нужно знать для выбора способа создания пересыщения для конкретного вещества?
62. Какими способами можно получить пересыщенный раствор для последующей кристаллизации продукта?
63. Что Вы можете предложить для увеличения размера кристаллов образуемой новой твердой фазы? От чего в основном зависит величина кристаллов?
64. Суспензия плохо и медленно отстаивается, осветленная жидкость отличается высокой мутностью. Что можно предпринять для улучшения процесса?
65. Произошел сбой в работе отделения фильтрации, скорость фильтрации упала, осадок имеет очень высокую влажность. Какие причины могли привести к сбою? Как это скажется на последующих стадиях и качестве продукта?
66. Как организовать разделение разбавленной суспензии, целевым продуктом в которой является твердая фаза?
67. Как организовать разделение разбавленной суспензии, целевым продуктом в которой является жидкая фаза?
68. Осадок трудно фильтруется, мелкокристаллический, содержит большое количество жидкой фазы. Как организовать его промывку, если целевой компонент содержится в жидкой фазе и его нужно сохранить для последующей переработки?
69. Как можно высушить раствор или суспензию, не прибегая к разделению?

70. В чем различия процессов сушки кристаллогидрата с получением в качестве продукта:

71. – кристаллогидрата с фиксированным значением гидратной воды;

72. – безводного продукта?

73. Какие характеристики продукта следует знать, чтобы выбрать способ его гранулирования?

74. Каким образом может быть сгранулирован порошок, суспензия, раствор?

75. Продукт для гранулирования имеет температуру плавления  $800^{\circ}$ , не допускает увлажнения. Способ его грануляции?

76. Какими способами можно увеличить прочность гранул, полученных методом окатывания на движущейся поверхности, методом прессования?

77. Продукт, гранулированный методом окатывания, после сушки разрушается. Возможные причины и способы их устранения.

78. Продукт А имеет гигроскопическую точку 45%, продукт Б – 92%. Потребуется ли применять дополнительные меры по снижению слеживаемости для этих продуктов и какие?

79. Какие факторы влияют на гигроскопичность продукта? В чем разница между оценкой гигроскопичности по гигроскопической точке и коэффициенту гигроскопичности?

80. Продукт имеет высокую растворимость, существенный температурный коэффициент растворимости, имеет полиморфный переход при  $30^{\circ}$ . Что можно сказать о его слеживаемости?

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы – до 45 мин.

#### **4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТП СПбГТИ 016–2015. КС УКДВ. Порядок проведения зачетов и экзаменов.