

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 26.06.2023 15:33:55  
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**  
**Кинетика процессов технологии неорганических веществ**

Направление подготовки

**18.03.01 Химическая технология**

Направленность программы бакалавриата

**«Химическая технология неорганических веществ»**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Заочная**

Факультет **химии веществ и материалов**

Кафедра **общей химической технологии и катализа**

Санкт-Петербург

2021

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, инициалы, фамилия
Ассистент		И.И. Торлопов

Рабочая программа дисциплины «Кинетика процессов 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.....	06
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	08
3. Объем дисциплины .....	08
4. Содержание дисциплины .....	09
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	09
4.2. Занятия лекционного типа.....	09
4.3. Занятия семинарского типа .....	011
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	011
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.....	13
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.....	14
10.1. Информационные технологии .....	14
10.2. Программное обеспечение .....	14
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	14
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-1.6</b> Основы формальной химической кинетики</p>	<p><b>Знать:</b> – ключевые понятия и законы формальной кинетики; <b>Уметь:</b> – определять кинетические характеристики процессов в соответствии с уравнениями формальной кинетики; <b>Владеть:</b> – методами определения констант скорости реакций по результатам кинетического эксперимента.</p>
	<p><b>ПК-1.7</b> Стехиометрия и химическая кинетика</p>	<p><b>Знать:</b> – матричные методы в химической кинетике; <b>Уметь:</b> – определять параметры стехиометрии при оптимизации систем сложных реакций; <b>Владеть:</b> – навыками анализа маршрутов сложных реакций.</p>
	<p><b>ПК-1.8</b> Теоретические основы кинетики каталитических реакций</p>	<p><b>Знать:</b> – кинетические закономерности и механизмы гетерогенно-каталитических реакций на однородной и неоднородной поверхности; <b>Уметь:</b> – выводить уравнения скорости каталитической реакции в соответствии с ее механизмом; <b>Владеть:</b> – навыками анализа уравнений скорости гетерогенно-каталитических реакций.</p>
	<p><b>ПК-1.9</b></p>	<p><b>Знать:</b></p>

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
	Кинетика каталитических реакций, лимитирующихся процессами массопереноса	<ul style="list-style-type: none"> <li>– влияние массопереноса на процессы, протекающие на поверхности катализатора;</li> <li><b>Уметь:</b></li> <li>– определять влияние внутренней и внешней диффузии на активность каталитической системы;</li> <li><b>Владеть:</b></li> <li>– навыками расчета оптимальной пористой структуры и геометрии катализатора.</li> </ul>
	<b>ПК-1.10</b> Кинетический анализ гетерогенных процессов на зерне катализатора	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Знать:</b></li> <li>– особенности кинетических моделей каталитических процессов с учетом влияния диффузии;</li> <li><b>Уметь:</b></li> <li>– вычислять по данным эксперимента скорость процесса в условиях внутренней и внешней диффузии;</li> <li><b>Владеть:</b></li> <li>– навыками кинетического анализа процессов на зерне катализатора.</li> </ul>
	<b>ПК-1.11</b> Кинетика некаталитических процессов технологии неорганических веществ с участием твердой фазы	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Знать:</b></li> <li>– механизмы и кинетику процессов с участием твердой фазы;</li> <li>– кинетические модели некаталитических процессов с участием твердой фазы;</li> <li><b>Уметь:</b></li> <li>– выводить и пользоваться уравнениями кинетики гетерогенных некаталитических процессов;</li> <li>– определять скорость процесса в твердофазных системах по опытным данным;</li> <li><b>Владеть:</b></li> <li>– навыками анализа и математического описания процессов в твердофазных системах;</li> <li>– навыками анализа характеристик твердофазных процессов технологии неорганических веществ.</li> </ul>

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

Дисциплина относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.04), и изучается на 3 курсе (летняя сессия) и на 4 курсе (зимняя и летняя сессии)..

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», «Гетерогенные процессы технологии неорганических веществ», «Технология малотоннажных продуктов», «Научные основы катализа и адсорбции». Полученные в процессе изучения дисциплины «Кинетика процессов технологии неорганических веществ» знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплин «Технология минеральных удобрений», «Технология катализаторов», «Технологическое оборудование», при прохождении преддипломной 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>10/360</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>50</b>
занятия лекционного типа	18
занятия семинарского типа, в т.ч.:	30
семинары, практические занятия (в т.ч. на практическую подготовку)	6 (6)
лабораторные работы (в т.ч. на практическую подготовку)	24 (24)
курсовое проектирование (КР или КП)	2
КСР	–
другие виды контактной работы	–
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>301</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (К/р, реферат, РГР, эссе)	3Кр
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	<b>КР, экзамен/9</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.	Основные понятия формальной химической кинетики	-	-	-	60	ПК-1	ПК-1.6
2.	Стехиометрия и кинетика, маршруты реакций	-	-	-	60	ПК-1	ПК-1.7
3.	Кинетика каталитических реакций на однородной и неоднородной поверхности	6	2	12	61	ПК-1	ПК-1.8
4.	Диффузионная кинетика каталитических реакций	6	2	6	60	ПК-1	ПК-1.9 ПК-1.10
5.	Кинетика некаталитических гетерогенных реакций с участием твердой фазы	6	2	6	60	ПК-1	ПК-1.11

##### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Иновационная форма
3	<p><u>Кинетика каталитических реакций на однородной и неоднородной поверхности.</u>                      Кинетика гомогенных каталитических реакций. Кинетика общего и специфического кислотно-основного катализа.                      Области протекания гетерогенно-каталитических реакций. Закон действующих поверхностей и его ограничения. Физическая и химическая адсорбция молекул. Ассоциативная (молекулярная) адсорбция. Вывод уравнения Лэнгмюра. Диссоциативная адсорбция. Конкурентная адсорбция. Адсорбционная кинетика Лэнгмюра – Хиншельвуда для простых и сложных каталитических реакций на идеальной поверхности. Механизм Или – Ридила. Кинетика на неоднородной поверхности. Энергетическая неоднородность поверхности и взаимное влияние адсорбированных частиц.</p>	6	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>Изотермы адсорбции на неоднородной поверхности. Логарифмическая изотерма Темкина. Подходы к выводу кинетических уравнений на неоднородной поверхности. Учет взаимодействия реакционной среды с катализатором. Кинетика реакций на катализаторах с изменяющейся активностью. Кинетика в условиях отравления поверхности катализаторов.</p> <p>Механизмы и кинетические уравнения основных промышленных каталитических реакций ТНВ. Синтез аммиака. Паровая конверсия метана. Окисление и восстановление оксида углерода. Окисление аммиака. Синтез карбамида. Окисление <math>\text{SO}_2</math> в <math>\text{SO}_3</math>.</p>		
4	<p><u>Диффузионная кинетика каталитических реакций.</u></p> <p>Внутренняя диффузия. Эффективный коэффициент диффузии. Область кнудсеновской диффузии в пористой среде. Степень использования внутренней поверхности. Уравнение Тиле – Зельдовича. Зависимости области протекания реакции от параметра Тиле. Влияние процессов переноса на избирательность реакции. Оптимальная пористая структура катализатора.</p> <p>Кинетика гетерогенно-каталитических процессов во внешнедиффузионной области. Критерии подобия. Критерий Рейнольдса. Влияние основных технологических параметров на область протекания процесса. Кинетика важнейших промышленных процессов во внешнедиффузионной области.</p>	6	ЛВ
5	<p><u>Кинетика некаталитических гетерогенных реакций с участием твердой фазы.</u></p> <p>Механизм и кинетика реакций твердое – жидкое. Скорость растворения и гидратации. Кинетика кристаллизации из растворов и расплавов. Кинетика образования зародышей кристаллов и роста кристаллов. Влияние диффузии. Скорость фильтрации суспензий. Кинетика топохимических реакций. Механизм и кинетика реакции твердое тело – газ. Влияние процессов диффузии. Кинетика восстановления оксидов, окисления металлов. Кинетика и механизм разложения твердых веществ: реакции дегидратации гидроксидов и разложения солей. Механизм и кинетика твердофазного взаимодействия твердое –</p>	6	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	твердое при синтезе сложных оксидов в процессах приготовления катализаторов и высокотемпературной керамики.		

### 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*	
3	Решение задач по кинетике каталитических реакций	2	2	КтСм
4	Расчет основных параметров диффузионной кинетики	2	2	КтСм
5	Решение задач по кинетике топочимических реакций	2	2	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*	
3	Исследование кинетики реакции окисления СО	6	6	КтСм
3	Исследование кинетики реакции паровой конверсии метана	6	6	КтСм
4	Исследование кинетики процесса на катализаторах с различной пористой структурой	6	6	КтСм
5	Исследование кинетики процесса разложения гидроксидов	6	6	КтСм

### 4.4. Самостоятельная работа.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Решение дифференциальных уравнений для кинетики необратимых реакций первого, второго и $n$ -го порядков	60	Проверка решения
2	Составление стехиометрических матриц типовых химических реакций	30	Проверка решения
2	Анализ стехиометрических матриц для модельных реакций. Подготовка отчёта	30	Защита отчёта

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
3	Оформление отчётов по лабораторным работам, подготовка к защите лабораторных работ	30	Защита работ
3	Кинетика реакций гетерогенного катализа с учетом воздействия реакционной среды на состояние катализатора. Физико-химические методы <i>in situ</i> при изучении кинетики и механизма гетерогенно-каталитических реакций	31	Письменный опрос
4	Теории подобия. Учет влияния переноса тепла в диффузионной кинетике	60	Письменный опрос
5	Оформление отчётов по лабораторным работам, подготовка к защите лабораторных работ	30	Защита работ
5	Механизмы гетерогенного взаимодействия. Современные методы изучения кинетики и механизма топохимических реакций	30	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.technology.edu.ru>

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

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена и защиты курсовой работы.

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:

<p>Вариант № 1</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Классификация кинетических процессов в технологии неорганических веществ.</li> <li>2. Адсорбционная кинетика Лэнгмюра – Хиншельвуда для простых и сложных каталитических реакций на идеальной поверхности.</li> </ol>
--

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. 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.

2. 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

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

3. Буданов, В.В. Химическая кинетика: Учебное пособие для вузов по направлениям подготовки «Химическая технология», «Биотехнология», «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» / В.В. Буданов, Т.Н. Ломова, В.В. Рыбкин. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2021. – 288 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1542-7 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.04.2021). – Режим доступа: по подписке.

4. Ильин, А.А. Введение в химическую кинетику: методические указания / А.А. Ильин, В.Н. Нараев, Е.Н. Смирнова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра физической химии. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 34 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 01.04.2021). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

5. 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. 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 «Кинетика процессов 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.

СТО СПбГТИ(ТУ) 044–2012. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Курсовой проект. Курсовая работа. Общие требования.

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 приходиться, 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 электронной почты.

### **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  
«Кинетика процессов 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-1.6</b> Основы формальной химической кинетики	<b>Знает</b> ключевые понятия и законы формальной кинетики	Вопросы к экзамену № 1-8, выполнение курсовой работы	Перечисляет основные понятия и закономерности формальной кинетики	Воспроизводит определения понятий формальной кинетики	Знает сущность основных законов формальной химической кинетики
	<b>Умеет</b> определять кинетические характеристики процессов в соответствии с законами формальной кинетики	Вопросы к экзамену № 1-8, выполнение курсовой работы	Использует закон действующих масс для определения вида уравнения скорости единичной реакции	Корректно применяет закон действующих масс для построения уравнений скорости для компонентов сложных реакций	Самостоятельно составляет дифференциальные уравнения кинетики по известной стехиометрии системы реакций
	<b>Владеет</b> методами определения констант скорости реакций по результатам кинетического эксперимента	Вопросы к экзамену № 1-8, выполнение курсовой работы	Вычисляет энергию активации и предэкспоненту реакции по значениям констант в двух точках	Определяет кинетические параметры реакции по опытным данным методом наименьших квадратов	Статистически обрабатывает и анализирует экспериментальные кинетические данные
<b>ПК-1.7</b> Стехиометрия и химическая кинетика	<b>Знает</b> матричные методы в химической кинетике	Вопросы к экзамену № 9-13, выполнение курсовой работы	Знает понятия линейной алгебры, применяющиеся в химической кинетике	Знает сущность и понимает цель применения аппарата матричных методов в формальной кинетике	Успешно формулирует правило Гиббса применительно к стехиометрии сложных реакций
	<b>Умеет</b> определять параметры стехиометрии при оптимизации систем сложных реакций	Вопросы к экзамену № 9-13, выполнение курсовой работы	С ошибками строит стехиометрическую матрицу данной системы реакции	Успешно пользуется законами сохранения при построении матричных уравнений кинетики	Самостоятельно вычисляет ранг стехиометрической матрицы системы
	<b>Владеет</b> навыками анализа маршрутов сложных реакций	Вопросы к экзамену № 9-13, выполнение курсовой работы	Составляет схемы маршрутов сложных реакций с балансowymi ошибками	Успешно составляет схемы маршрутов реакций в сложных системах	Сопоставляет различные маршруты реакций и делает выводы об их адекватности
<b>ПК-1.8</b>	<b>Знает</b> кинетические	Вопросы к экзамену	Перечисляет основные	Успешно объясняет	Знает ориентировочную

Теоретические основы кинетики каталитических реакций	закономерности и механизмы гетерогенно-каталитических реакций на однородной и неоднородной поверхности	№ 14-26, 41, выполнение курсовой работы	закономерности и ограничения адсорбционной кинетики	физико-химическую сущность закона действующих поверхностей и других законов адсорбционной кинетики	взаимосвязь между различными свойствами катализаторов
	<b>Умеет</b> выводить уравнения скорости каталитической реакции в соответствии с ее механизмом	Вопросы к экзамену № 14-26, 41, выполнение курсовой работы	Выводит уравнения скорости адсорбции для простейших случаев	Успешно применяет те или иные приближения адсорбционной кинетики для упрощения уравнений скорости	Самостоятельно выводит уравнение скорости гетерогенно-каталитической реакции по известному механизму
	<b>Владеет</b> навыками анализа уравнений скорости гетерогенно-каталитических реакций	Вопросы к экзамену № 14-26, 41, выполнение курсовой работы	Вычисляет значения скорости каталитической реакции по данному уравнению	Определяет наблюдаемые параметры реакции из уравнения ее скорости	Успешно объясняет предполагаемые особенности механизма реакции из ее кинетического уравнения
<b>ПК-1.9</b> Кинетика каталитических реакций, лимитирующихся процессами массопереноса	<b>Знает</b> влияние массопереноса на процессы, протекающие на поверхности катализатора	Вопросы к экзамену № 27-29, 41, выполнение курсовой работы	Знает основные закономерности массопереноса в пористом теле	Успешно формулирует ключевые параметры, характеризующие перенос массы в ходе каталитической реакции	Знает взаимосвязь между параметрами массопереноса в ходе каталитической реакции
	<b>Умеет</b> определять влияние внутренней и внешней диффузии на активность каталитической системы	Вопросы к экзамену № 27-29, 41, выполнение курсовой работы	Умеет применять критерии влияния внутренней и внешней диффузии на реакцию	Успешно определяет степень использования катализатора в различных областях протекания реакции	Самостоятельно формулирует температурные диапазоны областей протекания реакции
	<b>Владеет</b> навыками расчета оптимальной пористой структуры и геометрии катализатора	Вопросы к экзамену № 27-29, 41, выполнение курсовой работы	Рассчитывает параметры пористой структуры и геометрии пористых тел	Определяет влияние различных параметров катализатора и их изменения на ускорение процесса	Успешно подбирает диапазоны оптимальных характеристик катализатора данного процесса
<b>ПК-1.10</b> Кинетический анализ гетерогенных процессов на зерне	<b>Знает</b> особенности кинетических моделей каталитических процессов с учетом влияния диффузии	Вопросы к экзамену № 30-33, 41, выполнение курсовой работы	Знает влияние размера зерна катализатора на течение каталитического	Формулирует зависимости изменения наблюдаемых характеристик процесса в	Знает взаимосвязь режимов протекания реакции на гладком и на пористом зерне

катализатора			процесса	различных режимах	катализатора
	<b>Умеет</b> вычислять по данным эксперимента скорость процесса в условиях внутренней и внешней диффузии	Вопросы к экзамену № 30-33, 41, выполнение курсовой работы	Вычисляет скорость реакции в различных режимах протекания каталитического процесса	Рассчитывает энергию активации и предэкспоненту реакции в различных режимах ее протекания	Определяет взаимосвязь кинетических параметров процесса в различных режимах
	<b>Владеет</b> навыками кинетического анализа процессов на зерне катализатора	Вопросы к экзамену № 30-33, 41, выполнение курсовой работы	Определяет температуру перехода из одного режима в другой по опытным данным	Определяет область протекания процесса по величинам кинетических параметров	Формулирует выводы об оптимальных условиях ведения процесса по опытным данным
<b>ПК-1.11</b> Кинетика некаталитических процессов технологии неорганических веществ с участием твердой фазы	<b>Знает</b> механизмы и кинетику процессов с участием твердой фазы	Вопросы к экзамену № 34-40, выполнение курсовой работы	Перечисляет параметры гетерогенных процессов технологии неорганических веществ	Знает физико-химическую сущность процессов с участием твердой фазы и области их протекания	Успешно объясняет особенности кинетических механизмов стадий процессов с участием твердой фазы
	<b>Знает</b> кинетические модели некаталитических процессов с участием твердой фазы	Вопросы к экзамену № 34-40, выполнение курсовой работы	Перечисляет стадии процессов и соответствующие области протекания	Знает ключевые характеристики промышленных твердофазных процессов	Объясняет сущность различных параметров процессов с участием твердой фазы
	<b>Умеет</b> выводить и пользоваться уравнениями кинетики гетерогенных некаталитических процессов	Вопросы к экзамену № 34-40, выполнение курсовой работы	Приводит конечный вид уравнений кинетики некаталитических процессов с участием твердой фазы	Самостоятельно выводит кинетические уравнения гетерогенных процессов технологии неорганических веществ	Объясняет сущность и взаимосвязь различных параметров в выводимых кинетических уравнениях с участием твердой фазы
	<b>Умеет</b> определять скорость процесса в твердофазных системах по опытным данным	Вопросы к экзамену № 34-40, выполнение курсовой работы	Умеет пользоваться безразмерными инвариантами при кинетическом анализе	Определяет наблюдаемые параметры процессов с участием твердой фазы	Определяет время полного протекания анализируемого процесса
	<b>Владеет</b> навыками анализа и математического описания процессов в твердофазных системах	Вопросы к экзамену № 34-40, выполнение курсовой работы	Вычисляет параметры твердофазного процесса по известным данным о его скорости	Подбирает наиболее подходящее уравнение для описания гетерогенного процесса по опытным данным	Анализирует уравнения кинетики твердофазных процессов и на их основе делает выводы о протекании процессов

	<b>Владеет</b> навыками анализа характеристик твердофазных процессов технологии неорганических веществ	Ответы на вопросы № 34-40, выполнение курсовой работы	Определяет возможность практического применения процесса по данным эксперимента.	Определяет область протекания твердофазного процесса из опытных данных	Строит суждения об оптимальных параметрах ведения процессов с участием твердой фазы по данным анализа
--	--	---	--	--	---

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ).

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме защиты курсовой работы и 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. Основные понятия формальной химической кинетики. Простые и сложные реакции. Скорость реакции.
2. Формальный закон действующих масс. Молекулярность химической реакции.
3. Элементарная реакция и элементарный акт. Механизм сложной химической реакции.
4. Сложные реакции. Типичные кинетические кривые для последовательных и параллельных реакций. Сопряженные реакции.
5. Порядок химической реакции. Методы определения. Связь порядка реакции с её механизмом.
6. Константа скорости реакции. Зависимость скорости реакции от температуры. Закон Аррениуса.
7. Дифференциальные уравнения химической кинетики. Задачи химической кинетики.
8. Энергия активации. Поверхность потенциальной энергии. Взаимосвязь между кинетическими и термодинамическими параметрами простой обратимой реакции.
9. Стехиометрия и кинетика. Стехиометрическое число и стехиометрические матрицы. Определение стехиометрических числа и матрицы химической реакции.
10. Ранг матрицы. Правило Гиббса для расчета ранга стехиометрической матрицы.
11. Маршрут, скорости по маршруту. Число независимых маршрутов реакции.
12. Уравнения стационарности Темкина. Лимитирующая стадия.
13. Квазистационарные реакции. Условия квазистационарности.
14. Области протекания гетерогенно-каталитических реакций. Закон действующих поверхностей.
15. Физическая и химическая адсорбция молекул на твердой поверхности. Адсорбционная кинетика Лэнгмюра в случаях ассоциативной, диссоциативной и конкурентной адсорбции.
16. Механизм Лэнгмюра – Хиншельвуда для каталитических реакций на идеальной поверхности.
17. Принцип квазиравновесия и квазистационарности. Лимитирующая стадия.
18. Механизм Или – Ридила.
19. Механизм Марса – ван Крелевена. Стадийный и слитный механизм каталитического окисления углеводородов.
20. Кинетика окисления СО на металлах и на оксидах.
21. Автоколебания скорости каталитических реакций.
22. Энергетическая неоднородность поверхности и взаимное влияние адсорбированных частиц.
23. Кинетика на неоднородной поверхности. Подходы к выводу кинетических уравнений каталитических реакций на неоднородной поверхности.
24. Изотермы адсорбции на неоднородной поверхности. Вывод логарифмической изотермы.
25. Вывод уравнения Темкина – Пыжова для реакции синтеза аммиака на неоднородной поверхности.
26. Влияние основных технологических параметров и характеристик катализаторов на область протекания каталитического процесса.
27. Внутридиффузионная область протекания каталитических реакций. Эффективный и кнудсеновский коэффициенты диффузии.
28. Степень использования внутренней поверхности. Уравнение Тиле – Зельдовича.

29. Зависимости области протекания реакции от модуля Тиле. Кинетическая модель реакции в области внутренней диффузии.
30. Влияние процессов переноса на избирательность реакции. Оптимальная пористая структура и форма гранул катализаторов.
31. Кинетика гетерогенно-каталитических процессов во внешнедиффузионной области.
32. Учет взаимодействия реакционной среды с катализатором. Кинетика реакций на катализаторах с изменяющейся активностью.
33. Кинетика в условиях отравления поверхности катализаторов.
34. Основные закономерности кинетики некаталитических реакций.
35. Кинетика реакций растворения твердых тел.
36. Кинетика процесса экстракции фосфорной кислоты из природных фосфатов.
37. Кинетика кристаллизации из растворов и расплавов. Кинетика образования зародышей кристаллов. Скорость роста кристаллов. Влияние диффузии.
38. Кинетика топохимических реакций. Механизм и кинетика реакции «твердое тело – газ». Влияние процессов диффузии. Уравнение Колмогорова – Ерофеева.
39. Кинетика и механизм разложения твердых веществ, дегидратации гидроксидов и разложения солей.
40. Кинетика процесса восстановления фосфора из фосфоритного сырья.
41. Механизмы и кинетические уравнения основных промышленных каталитических реакций технологии неорганических веществ: контактное окисление диоксида серы, процессы технологии связанного азота, окисление СО, синтез карбамида.

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.

### 3.2. Типовые задания для выполнения контрольных работ (ПК-1)

В процессе изучения курса «Кинетика процессов технологии неорганических веществ» студенты выполняют 3 контрольные работы, которые включают ответы на теоретические вопросы и выполнение расчетных заданий. Каждая работа является формой методической помощи студентам при изучении курса и выполняется индивидуально. Определение номера варианта контрольной работы следует проводить согласно данным, представленным в таблице 1. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, не засчитывается.

Таблица 1 – Выбор варианта задания контрольной работы

Две последние цифры шифра студенческого билета.	Номер варианта контрольной работы
01,26,51,76	1
02,27,52,77	2
03,28,53,78	3
04,29,54,79	4
05,30,55,80	5
06,31,56,81	6
07,32,57,82	7
08,33,58,83	8
09,34,59,84	9

10,35,60,85	10
1136,61,86	11
12,37,62,87	12
13,38,63,88	13
14,39,64,89	14
15,40,65,90	15
16,41,66,91	16
17,42,67,92	17
18,43,68,93	18
19,44,69,94	18
20,45,70,95	20
21,46,71,96	21
22,47,72,97	22
23,48,73,98	23
24,49,74,99	24
25,50,75,00	25

### **Контрольная работа №1**

#### **Вариант №1**

1. Каталитические процессы на однородной и неоднородной поверхности катализатора.
2. Расчет равновесных концентраций

### **Контрольная работа №2**

#### **Вариант №1**

1. Кинетика синтеза метанола.
2. Гранулу катализатора радиуса  $R$  ламинарно обтекает поток жидкости (скоростью  $V$ ), содержащий реагент в концентрации  $/C_0/$ . Оценить количество реагента, прореагировавшего в единицу времени, если скорость реакции лимитируется диффузией реагента из потока, обтекающего гранулу, к поверхности гранулы. Коэффициент диффузии реагента  $D$ . Реакция необратима.

### **Контрольная работа №3**

#### **Вариант №1**

1. Кинетика синтеза аммиака.
2. В микрогетерогенной системе, состоящей из капелек воды радиуса  $R$  в масле, в момент времени  $t = 0$  в каждой капельке создаётся пара реагентов  $A$ ,  $B$ , которые могут либо прорекомбинировать, либо выйти из капельки в масло, мгновенно вступив с ним в реакцию. Оценить вероятность выхода реагентов из капли и эффективную константу исчезновения  $A$  в системе, если скорость рекомбинации  $A + B = AB$  определяется диффузией. Коэффициент диффузии  $D_A \approx D_B$ , радиусы  $A$  и  $B$ :  $r_A \approx r_B$

### **4. Темы курсовых работ.**

1. Кинетика и механизм окисления диоксида серы.
2. Кинетика и механизм синтеза и разложения аммиака.
3. Кинетика и механизм окисления аммиака.
4. Кинетика и механизм синтеза метанола.
5. Кинетика и механизм окисления метанола.

6. Кинетика и механизм паровой конверсии природного газа.
7. Кинетика и механизм конверсии CO.
8. Кинетика и механизм окисления CO.
9. Кинетика и механизм окисления водорода.
10. Кинетика и механизм синтеза карбамида.
11. Кинетика и механизм процессов растворения солей.
12. Кинетика и механизм процессов выщелачивания.
13. Кинетика и механизм процессов кристаллизации солей.
14. Кинетика и механизм процессов кристаллизации гидроксидов.
15. Кинетика и механизм реакций восстановления оксидов (оксида никеля, меди, кобальта и др.)
16. Кинетика и механизм реакций разложения гидроксидов.
17. Кинетика и механизм реакций разложения карбонатов.
18. Кинетика и механизм твердофазных реакций синтеза сложных оксидных катализаторов.

**5. 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.