

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 23.05.2022 11:29:59  
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  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Катализ в кипящем слое**

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
Доцент		Ю.В. Александрова

Рабочая программа дисциплины «Катализ в кипящем слое» 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.....	07
3. Объем дисциплины .....	07
4. Содержание дисциплины .....	08
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	08
4.2. Занятия лекционного типа.....	08
4.3. Занятия семинарского типа .....	09
4.3.1. Лабораторные занятия .....	09
4.4. Самостоятельная работа .....	09
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	09
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	010
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	011
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	011
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	011
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	012
10.1. Информационные технологии .....	012
10.2. Программное обеспечение .....	012
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)
<b>ПК-4</b> Способен анализировать причины брака и выпуска продукции низкого качества, разрабатывать мероприятия по его предупреждению	<b>ПК-4.2</b> Применение знаний о составе, технологии изготовления и показателям качества носителей и катализаторов при их разработке и производстве	<b>Знать:</b> – особенности проведения каталитических процессов в кипящем слое катализатора, требования к катализаторам кипящего слоя; <b>Уметь:</b> – производить материальные и тепловые расчёты реактора с кипящим слоем катализатора; <b>Владеть:</b> – навыками оценки эффективности применения реакторов с кипящим слоем катализатора.

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

Дисциплина относится к факультативным дисциплинам (ФТД.02) и изучается на 3 курсе (летняя сессия).

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 «Катализ в кипящем слое» знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплин «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>2/72</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>8</b>
занятия лекционного типа	4
занятия семинарского типа, в т.ч.:	4
семинары, практические занятия	–
лабораторные работы (в т.ч. на практическую подготовку)	4 (2)
курсовое проектирование (КР или КП)	–
КСР	–
другие виды контактной работы	–
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>60</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (К/р, реферат, РГР, эссе)	–
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	<b>Зачет(4)</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.	Аэродинамика кипящего слоя, тепло- и массообмен в кипящем слое	1	–		10	ПК-4	ПК-4.1
2.	Основные технологические характеристики кипящего слоя катализатора		–	-	10	ПК-4	ПК-4.1
3.	Катализаторы для кипящего слоя	1	–	-	10	ПК-4	ПК-4.1
4.	Моделирование реакторов с кипящим слоем катализатора	1	–	4	10	ПК-4	ПК-4.1
5.	Промышленные процессы с кипящим слоем катализатора	1	–	–	20	ПК-4	ПК-4.1

##### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<u>Аэродинамика кипящего слоя, тепло- и массообмен в кипящем слое.</u> Условия существования кипящего слоя. Перепад давления в слое. Скорость начала псевдооживления. Скорость уноса материала.	1	ЛВ
3	<u>Катализаторы кипящего слоя.</u> Особенности приготовления катализаторов для кипящего слоя.	1	ЛВ
4	<u>Моделирование реакторов с кипящим слоем катализатора.</u> Типы реакторов с кипящим слоем катализатора. Реакторы со стационарным слоем катализатора. Реакторы с непрерывным обновлением катализатора..	1	ЛВ
5	<u>Промышленные процессы с кипящим слоем катализатора.</u> Контактное окисление диоксида серы в реакторе с кипящим слоем катализатора	1	ЛВ

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Лабораторные занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку*	
4	Моделирование реактора полного смешения с кипящим слоем	4	2	КтСм

#### 4.4. Самостоятельная работа.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Перемешивание в кипящем слое. Неоднородность кипящего слоя. Пределы существования кипящего слоя. Теплообмен между частицами катализатора. Теплообмен с нагревающей поверхностью. Массообмен между пузырями и зёрнами катализатора. Экспериментальные методы определения характеристик газовых пузырей в кипящем слое	10	Зачёт
2	Скорость каталитического процесса в кипящем слое. Влияние размера зёрен катализатора на область протекания процесса. Изотермичность кипящего слоя. Устойчивость работы катализатора в кипящем слое.	10	Зачёт
3	Методы упрочнения структуры катализаторов. Износоустойчивость катализаторов и методики её определения. Технологии приготовления катализаторов кипящего слоя.	10	Зачёт
4	Трубчатые реакторы с кипящим слоем катализаторов. Секционирование реакторов с кипящим слоем катализатора. Расчётные модели реакторов с эмпирическими коэффициентами. Модель реактора кипящего слоя с потоком газа через пузырь. Модель с обратным перемешиванием	10	Зачёт
5	Окисление аммиака. Паровая конверсия природного газа. Паровая конверсия СО. Синтез аммиака. Дегидрирование бутана. Крекинг нефтепродуктов. Анализ функционирования реакторов с кипящим слоем различных катализаторов	20	Зачёт

### 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 зачета (6 семестр).

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

При сдаче зачета обучающийся получает два вопроса из перечня вопросов (время подготовки к устному ответу – 30 минут).

Пример варианта вопросов на зачете:

Вариант № 1

1. Изотермичность кипящего слоя.
2. Определение параметров устойчивого псевдооживления.

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.**

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. Мальцева, Н.В. Определение механической прочности наноструктурированных пористых тел: катализаторов, носителей и сорбентов: методические указания к лабораторным работам / Н.В. Мальцева, 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), 2012. – 58 с.

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

4. Самойлов, Н.А. Примеры и задачи по курсу «Математическое моделирование химико-технологических процессов»: Учебное пособие / Н.А. Самойлов. – 3-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2021. – 176 с. – ISBN 978-5-8114-1553-3 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.04.2021). - Режим доступа: по подписке.

5. Мальцева, Н.В. Определение механической прочности наноструктурированных пористых тел: катализаторов, носителей и сорбентов: методические указания к лабораторным работам / Н.В. Мальцева, 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), 2012. – 58 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 «Катализ в кипящем слое» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

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

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  
«Катализ в кипящем слое»**

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

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
<b>ПК-4</b>	<b>Способен анализировать причины брака и выпуска продукции низкого качества, разрабатывать мероприятия по его предупреждению</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)
			«зачтено» (пороговый)
<b>ПК-4.2</b> Применение знаний о составе, технологии изготовления и показателям качества носителей и катализаторов при их разработке и производстве	<b>Знает</b> особенности проведения каталитических процессов в кипящем слое катализатора, требования к катализаторам кипящего слоя	Вопросы к зачету № 1-8	Рассказывает об особенностях проведения конкретных химико-технологических процессах в кипящем слое. Перечисляет достоинства и недостатки применения кипящего слоя катализатора
	<b>Умеет</b> производить материальные и тепловые расчёты реактора с кипящим слоем катализатора	Вопросы к зачету № 9-15	Определяет кинетические показатели функционирования катализатора кипящего слоя. Осуществляет расчёт реактора кипящего слоя по экспериментально определённым кинетическим характеристикам катализатора
	<b>Владеет</b> навыками оценки эффективности применения реакторов с кипящим слоем катализатора	Вопросы к зачету № 16-20	Осуществляет обоснованный выбор катализатора. Аргументированно показывает целесообразность применения кипящего слоя по сравнению с фильтрующим слоем катализатора

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ).

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в шкала оценивания – «зачтено» (если достигнут «пороговый» уровень освоения всех элементов компетенции), «не зачтено».

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

#### **3.1 Типовые контрольные вопросы к зачету**

**а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-4:**

1. Определение условий устойчивого псевдооживления.
2. Расчёт скорости начала взвешивания и скорости уноса.
3. Методы определения характеристик газовых пузырей в кипящем слое.
4. Характеристики газовых пузырей в кипящем слое.
5. Перемешивание в кипящем слое.
6. Газораспределение в кипящем слое.
7. Модели теплообмена в кипящем слое.
8. Модели массообмена в кипящем слое.
9. Требования к реактору кипящего слоя.
10. Единичный реактор кипящего слоя.
11. Трубчатый реактор кипящего слоя.
12. Секционирование реактора с кипящим слоем.
13. Кинетика процесса окисления диоксида серы в кипящем слое.
14. Кинетика окисления аммиака в кипящем слое.
15. Требования к катализаторам кипящего слоя.
16. Реакторы для окисления диоксида серы в кипящем слое.
17. Реакторы для окисления аммиака в кипящем слое.
18. Реакторы для паровой конверсии природного газа в кипящем слое.
19. Реакторы крекинга нефтепродуктов в кипящем слое.
20. Реакторы дегидрирования бутана в кипящем слое.

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

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы – до 30 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.