

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 29.09.2023 18:08:50  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



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

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной  
и методической работе

\_\_\_\_\_ Б.В. Пекаревский

« 22 » июня 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Научные основы приготовления катализаторов**

Направление подготовки

**18.04.01 Химическая технология**

Направленность программы магистратуры  
**Катализаторы и каталитические процессы**

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **химии веществ и материалов**

Кафедра **общей химической технологии и катализа**

Санкт-Петербург

2022

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

| Должность разработчика | Подпись | Ученое звание, фамилия, инициалы |
|------------------------|---------|----------------------------------|
| Доцент                 |         | доцент Черемисина О.А.           |

Рабочая программа дисциплины «Научные основы приготовления катализаторов»  
обсуждена на заседании кафедры общей химической технологии и катализа  
протокол от «15» июня 2022 № 7

Заведующий кафедрой

А.Ю. Постнов

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов  
протокол от «16» июня 2022 № 9

Председатель

С.Г. Изотова

### СОГЛАСОВАНО

|   |  |                  |
|---|--|------------------|
| Руководитель направления подготовки<br>«Химическая технология»    |  | М.В. Рутто       |
| Директор библиотеки   |  | Т.Н. Старостенко |
| Начальник методического отдела<br>учебно-методического управления |  | М.З. Труханович  |
| Начальник<br>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.....  | 06 |
| 3. Объем дисциплины.....   | 06 |
| 4. Содержание дисциплины.....  | 07 |
| 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....  | 07 |
| 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.....  | 13 |
| 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 магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

| Код и наименование компетенции   | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                       | Планируемые результаты обучения (дескрипторы)  |
|--|--|--|
| <p><b>ОПК-3</b><br/>Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлив и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и техническую оснастку</p> | <p><b>ОПК-3.2</b><br/>Инженерные основы приготовления катализаторов методами нанесения</p> | <p><b>Знать:</b><br/>основные традиционные и новые методы получения катализаторов и носителей, а также фундаментальные законы и механизмы, положенные в основу синтеза дисперсных пористых тел заданного химического и фазового состава, получаемых различными методами;<br/><b>Уметь:</b><br/>рассчитывать состав и свойства активного компонента при приготовлении пропиточных катализаторов в зависимости от режима сушки и области начала кристаллизации;<br/><b>Владеть:</b><br/>физико-химическими основами приготовления катализаторов методом нанесения.</p> |
|  | <p><b>ОПК-3.3</b><br/>Инженерные основы приготовления катализаторов методами осаждения</p> | <p><b>Знать:</b><br/>механизмы формирования гидроксидов при осаждении, стадийную схему коллоидно-химического осаждения;<br/><b>Уметь:</b><br/>рассчитывать текстурные и прочностные характеристики пористых корпускулярных тел;<br/><b>Владеть:</b><br/>физико-химическими основами приготовления катализаторов методом осаждения.</p>   |
|  | <p><b>ОПК-3.4</b><br/>Инженерные основы приготовления катализаторов методами смешения</p>  | <p><b>Знать:</b><br/>факторы, влияющие на глубину взаимодействия компонентов в катализаторах, полученных методом смешения;</p>   |

| Код и наименование компетенции   | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                | Планируемые результаты обучения (дескрипторы)   |
|--|---|---|
|  |   | <p><b>Уметь:</b><br/>рассчитывать кинетические характеристики взаимодействия компонентов в процессе механического смешения;</p> <p><b>Владеть:</b><br/>физико-химическими основами приготовления катализаторов методом смешения.</p>  |
| <p><b>ОПК-4</b><br/>Способен находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты</p> | <p><b>ОПК-4.2</b><br/>Организация процессов термической обработки катализаторов</p> | <p><b>Знать:</b><br/>Закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении массивных и нанесенных предшественников активного компонента;</p> <p><b>Уметь:</b><br/>рассчитывать кинетические характеристики разложения объемных и нанесенных соединений в процессе термообработки;</p> <p><b>Владеть:</b><br/>методиками оптимизации процессов термообработки и восстановления катализаторов.</p> |

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

Дисциплина относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.О.05), и изучается на 1 курсе в 1 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплины «Теоретические основы катализа». Полученные в процессе изучения дисциплины «Научные основы приготовления катализаторов», знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплин: «Высокотехнологичные методы исследования свойств носителей и катализаторов», «Кинетика гетерогенно-каталитических процессов», «Промышленный катализ в производстве неорганических материалов катализаторов», «Технологии носителей и катализаторов», «Промышленный катализ в нефтепереработке и нефтехимии», «Безопасность промышленных каталитических процессов», «Каталитические процессы защиты окружающей среды», «Каталитические процессы специального назначения», при прохождении всех видов практик, в научно-исследовательской работе магистранта, а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Объем дисциплины.

| Вид учебной работы  | Всего,<br>ЗЕ/академ. часов |
|---|----------------------------|
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b><br>(зачетных единиц/академических часов) | <b>4/144</b>               |
| <b>Контактная работа с преподавателем:</b>                                    | <b>62</b>                  |
| занятия лекционного типа  | 18                         |
| занятия семинарского типа, в т.ч.:  | 36                         |
| семинары, практические занятия  | 36                         |
| лабораторные работы   | –                          |
| курсовое проектирование (КР или КП)   | –                          |
| КСР   | 8                          |
| другие виды контактной работы   | –                          |
| <b>Самостоятельная работа</b>   | <b>55</b>                  |
| <b>Форма текущего контроля</b> (К/р, реферат, РГР, эссе)                      | –                          |
| <b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)                | <b>экзамен/27</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.    | Цели и задачи научных основ приготовления катализаторов. Получение катализаторов методами осаждения | 6                                    | 10                                    | –                   | 11                                 | ОПК-3<br>ОПК-4          | ОПК-3.2<br>ОПК-3.3<br>ОПК-3.4<br>ОПК-4.2 |
| 2.    | Основы приготовления катализаторов методами нанесения   | 6                                    | 11                                    | –                   | 16                                 | ОПК-3<br>ОПК-4          | ОПК-3.2<br>ОПК-3.3<br>ОПК-3.4<br>ОПК-4.2 |
| 3.    | Получение катализаторов методами механического смешения   | 3                                    | 8                                     | –                   | 17                                 | ОПК-3<br>ОПК-4          | ОПК-3.2<br>ОПК-3.3<br>ОПК-3.4<br>ОПК-4.2 |
| 4.    | Термическая обработка катализаторов   | 3                                    | 7                                     | –                   | 11                                 | ОПК-3<br>ОПК-4          | ОПК-3.2<br>ОПК-3.3<br>ОПК-3.4<br>ОПК-4.2 |

##### 4.2. Занятия лекционного типа.

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|---|-------------------|---------------------|
| 1                    | <u>Цели и задачи научных основ приготовления катализаторов.</u> Роль носителей в катализаторах. Механизмы формирования гидроксидов при осаждении. Стадийная схема коллоидно-химического осаждения   | 6                 | ЛВ                  |
| 2                    | <u>Физико-химические основы приготовления катализаторов методом нанесения.</u> Механизмы закрепления предшественников активного компонента на поверхности носителей. Современные тенденции в развитии методов нанесения. Метод «deposition-precipitation», одностадийный золь-гель метод, метод совместного гелеобразования | 6                 | ЛВ                  |
| 3                    | <u>Получение катализаторов методом механического смешения.</u> Факторы, влияющие на глубину взаимодействия компонентов в  | 3                 | ЛВ                  |

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Иновационная форма |
|----------------------|---|-------------------|--------------------|
|                      | катализаторах, полученных методом смешения  |                   |                    |
| 4                    | Термическая обработка катализаторов. Закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении массивных и нанесенных предшественников активного компонента. | 3                 | ЛВ                 |

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, акад. часы |   | Иновационная форма     |
|----------------------|--|-------------------|---|------------------------|
|                      |  | всего             | в том числе на практическую подготовку* |                        |
| 1                    | Классификация катализаторов. Основные типы промышленных катализаторов и методы их получения  | 2                 | –                                       | Компьютерная симуляция |
| 1                    | Механическая прочность катализаторов. Решение задач по расчёту текстурных и прочностных свойств пористых корпускулярных тел.   | 3                 | –                                       | Компьютерная симуляция |
| 1                    | Роль носителей в катализаторах. Задачи по расчёту капиллярного давления растворителей в порах носителей.   | 2                 | –                                       | Компьютерная симуляция |
| 1                    | Закономерности образования и роста осадков. Решение задач по осаждению соединений металлов в рамках классической теории.   | 3                 | –                                       | Компьютерная симуляция |
| 2                    | Нанесённые пропиточные катализаторы. Задачи по расчёту состава и свойств активного компонента при приготовлении пропиточных катализаторов в зависимости от режима сушки и области начала кристаллизации. | 4                 | –                                       | Компьютерная симуляция |
| 2                    | Регулирование распределения активного компонента по зерну носителя. Задачи по расчёту свойств активного компонента в зависимости условий приготовления адсорбционных катализаторов.                      | 4                 | –                                       | Компьютерная симуляция |
| 2                    | Нанесенные бикомпонентные катализаторы. Определение характеристик катализаторов в  | 3                 | –                                       | Компьютерная симуляция |



| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, акад. часы |   | Инновационная форма    |
|----------------------|--|-------------------|---|------------------------|
|                      |  | всего             | в том числе на практическую подготовку* |                        |
|                      | зависимости от способа нанесения и адсорбционных характеристик наносимых соединений  |                   |   |                        |
| 3                    | Получение катализаторов методом механического смешения. Особенности формирования фазового состава катализаторов при механохимической активации | 8                 | –                                       | Компьютерная симуляция |
| 4                    | Термообработка катализаторов. Решение задач по кинетике восстановления катализаторов   | 3                 | –                                       | Компьютерная симуляция |
| 4                    | Термообработка катализаторов. Решение задач по кинетике разложения объемных и нанесенных соединений в процессе термообработки                  | 2                 | –                                       | Компьютерная симуляция |
| 4                    | Термообработка катализаторов. Решение задач по кинетике твердофазного взаимодействия компонентов   | 2                 | –                                       | Компьютерная симуляция |

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

Не предусмотрены.

#### 4.4. Самостоятельная работа.

| № раздела дисциплины | Перечень вопросов для самостоятельного изучения  | Объем, акад. часы | Форма контроля              |
|----------------------|--|-------------------|-----------------------------|
| 1                    | Цели и задачи научных основ приготовления. Основные характеристики катализаторов                 | 2                 | Устный или письменный опрос |
| 1                    | Основные этапы, методы и стадии приготовления катализаторов                                      | 2                 | Устный или письменный опрос |
| 1                    | Основные понятия коллоидной химии в приготовлении катализаторов                                  | 2                 | Устный или письменный опрос |
| 1                    | Носители. Роль носителей в катализаторах. Свойства основных синтетических носителей              | 2                 | Устный или письменный опрос |
| 1                    | Получение катализаторов методами осаждения. Классификация гидроксидов по скорости кристаллизации | 2                 | Устный или письменный опрос |
| 1                    | Глубина взаимодействия гидроксидов при соосаждении   | 1                 | Устный или письменный опрос |

| № раздела дисциплины | Перечень вопросов для самостоятельного изучения                        | Объем, акад. часы | Форма контроля              |
|----------------------|--|-------------------|-----------------------------|
| 2                    | Физико-химические основы приготовления катализаторов методом нанесения | 8                 | Устный или письменный опрос |
| 2                    | Новые нетрадиционные методы приготовления нанесенных катализаторов     | 8                 | Устный или письменный опрос |
| 3                    | Получение катализаторов методом механического смешения                 | 17                | Устный или письменный опрос |
| 4                    | Термообработка катализаторов   | 11                | Устный или 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 (1 семестр)

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

Пример варианта вопросов на экзамене:

|   |
|---|
| 1. Растворы. Состояние ионов в растворах и его влияние на свойства катализаторов.       |
| 2. Текстуальные характеристики катализаторов и их зависимость от условий приготовления. |
| 3. Задача.  |

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. Научные основы приготовления катализаторов. Введение в теорию и практику / Н.А. Пахомов; отв. ред. В.А. Садыков; Российская академия наук. Сибирское отделение. Институт катализа имени Г.К. Борескова. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2011. – 262 с. – ISBN 978-5-7692-1185-0

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

3. Сибаров, Д.А. Катализ, каталитические процессы и реакторы: учебное пособие / Д.А. Сибаров, Д.А. Смирнова. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 200 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-2158-9

4. Крылов, О.В. Гетерогенный катализ: Учебное пособие для вузов по специальностям «Химическая кинетика и катализ», «Химия» / О.В. Крылов. – Москва: Академкнига, 2004. – 679 с. – ISBN 5-94628-141-0

5. Мальцева, Н.В. Получение блочных катализаторов конверсии углеводородов: методические указания / Н.В. Мальцева, С.А. Лаврищева; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 36 с.

6. Власов, Е.А. Получение катализаторов методом пропитки пористых носителей: методические указания к лабораторной работе / Е.А. Власов, К.В. Семикин, Д.А. Смирнова, Н.В. Кузичкин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра ресурсосберегающих технологий. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 31 с.

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

7. Сибаров, Д.А. Катализ, каталитические процессы и реакторы: учебное пособие / Д.А. Сибаров, Д.А. Смирнова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2021. – 200 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-2158-9 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 04.05.2022). – Режим доступа: по подписке.

8. Мальцева, Н.В. Получение блочных катализаторов конверсии углеводородов: методические указания / Н.В. Мальцева, С.А. Лаврищева; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 36 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 04.05.2022). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

9. Власов, Е.А. Получение катализаторов методом пропитки пористых носителей: методические указания к лабораторной работе / Е.А. Власов, К.В. Семикин, Д.А. Смирнова, Н.В. Кузичкин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра ресурсосберегающих технологий. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 31 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 04.05.2022). – 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 «Научные основы приготовления катализаторов» 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 018–2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические 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 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.

Реализация программы учебной дисциплины предполагает наличие учебной лаборатории, оснащенной следующим лабораторным оборудованием:

- спектрофотометр СФ-26;
- торсионные весы PRLT T3;
- прибор измерения механической прочности МП-2С;
- хроматографы ЦВЕТ-100, ЦВЕТ-500, ЦВЕТ-800 и 3700;
- вакуумный насос VP18R;
- вискозиметр Reotest-2;
- рН-метры рН-150МИ;
- редукторы газовые;
- анализатор влажности порошковых материалов МОС-120Н;
- влагомеры Байкал-3 и Волна-2;
- рентгеновский дифрактометр ДРОН-3М;

- дериватограф Q-1500 D;
- дифференциальный термогравиметрический анализатор Shimadzu DTG-60H;
- газовый хроматограф GC 2010 Plus;
- энергодисперсионные рентгенофлуоресцентные спектрометры EDX-7000 и EDX-8000;
- ИК-Фурье спектрометр IRTracer-100;
- рентгеновский дифрактометр XRD-6100;
- Autosorb 6iSA;
- лазерный дифракционный анализатор размеров частиц SALD-2300;
- газовый хроматомасс-спектрометр GCMS-QP2010 Ultra;

Оборудование Инжинирингового центра СПбГТИ(ТУ):

- сканирующий зондовый атомно-силовой микроскоп Shimadzu SPM-9700;
- лазерный дифракционный анализатор размеров частиц Shimadzu SALD-7500;
- термомеханический анализатор изменения линейных размеров образца Shimadzu TMA-60;
- трибометр Anton Paar ТНТ;
- реометр Anton Paar Physica MCR 302;
- ИК-Фурье спектрометр Shimadzu IRTracer-100;
- дифференциальный сканирующий калориметр Shimadzu DSC-60 Plus;
- дериватограф Shimadzu DTG-60;
- универсальная испытательная машина Shimadzu AG-XD plus, 20kN-50kN;
- спектрофотометр Shimadzu UV-1800;
- многофункциональная лабораторная машина для перемешивания MagicLab-XP;
- спектрометр ЯМР Bruker AVANCE III HD 400 NanoBay;
- растровый электронный микроскоп Tescan Vega 3 SBH;
- рентгеновский дифрактометр Rigaku SmartLab 3;
- прибор для проведения измерений температур- и теплопроводности Netzsch LFA 457 MicroFlash;
- прибор синхронного термического анализа Netzsch STA 449 F3 Jupiter.

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

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебный 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  
«Научные основы приготовления катализаторов»**

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

| Индекс компетенции | Содержание  | Этап формирования |
|--------------------|---|-------------------|
| <b>ОПК-3</b>       | <b>Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлив и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и техническую оснастку</b> | промежуточный     |
| <b>ОПК-4</b>       | <b>Способен находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты</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>ОПК-3.2</b><br>Инженерные основы приготовления катализаторов методами нанесения | <b>Знает</b> основные традиционные и новые методы получения катализаторов и носителей, а так же фундаментальные законы и механизмы, положенные в основу синтеза дисперсных пористых тел заданного химического и фазового состава, получаемых различными методами | Вопросы к экзамену № 1-37 | С ошибками способен рассказать основные традиционные и новые методы получения катализаторов и носителей, а также фундаментальные законы и механизмы, положенные в основу синтеза дисперсных пористых тел заданного химического и фазового состава, получаемых различными методами | С помощью преподавателя способен рассказать, основные традиционные и новые методы получения катализаторов и носителей, а также фундаментальные законы и механизмы, положенные в основу синтеза дисперсных пористых тел заданного химического и фазового состава, получаемых различными методами | Самостоятельно способен рассказать основные традиционные и новые методы получения катализаторов и носителей, а также фундаментальные законы и механизмы, положенные в основу синтеза дисперсных пористых тел заданного химического и фазового состава, получаемых различными методами |
|  | <b>Умеет</b> рассчитывать состав и свойства активного компонента при приготовлении пропиточных катализаторов в зависимости от режима сушки и области начала кристаллизации   | Вопросы к экзамену № 1-37 | С ошибками способен рассчитывать состав и свойства активного компонента при приготовлении пропиточных катализаторов в зависимости от режима сушки и области начала кристаллизации   | С помощью преподавателя способен рассчитывать состав и свойства активного компонента при приготовлении пропиточных катализаторов в зависимости от режима сушки и области начала кристаллизации  | Самостоятельно способен рассчитывать состав и свойства активного компонента при приготовлении пропиточных катализаторов в зависимости от режима сушки и области начала кристаллизации   |
|  | <b>Владеет</b> физико-химическими основами приготовления катализаторов методом нанесения   | Вопросы к экзамену № 1-37 | С ошибками владеет физико-химическими основами приготовления катализаторов методом нанесения  | При консультации преподавателя владеет физико-химическими основами приготовления катализаторов методом  | Самостоятельно владеет физико-химическими основами приготовления катализаторов методом нанесения  |

|  |   |                           |   |   |   |
|--|---|---------------------------|---|---|---|
|  |   |                           |   | нанесения   |   |
| <b>ОПК-3.3</b><br>Инженерные основы приготовления катализаторов методами осаждения | <b>Знает</b> механизмы формирования гидроксидов при осаждении, стадийную схему коллоидно-химического осаждения.   | Вопросы к экзамену № 1-37 | С ошибками перечисляет механизмы формирования гидроксидов при осаждении, стадийную схему коллоидно-химического осаждения    | С помощью преподавателя рассказывает механизмы формирования гидроксидов при осаждении, стадийную схему коллоидно-химического осаждения    | Рассказывает механизмы формирования гидроксидов при осаждении, стадийную схему коллоидно-химического осаждения    |
|  | <b>Умеет</b> рассчитывать текстурные и прочностные характеристики пористых корпускулярных тел.                    | Вопросы к экзамену № 1-37 | С ошибками способен рассчитывать текстурные и прочностные характеристики пористых корпускулярных тел                        | С помощью преподавателя способен рассчитывать текстурные и прочностные характеристики пористых корпускулярных тел                         | Самостоятельно способен рассчитывать текстурные и прочностные характеристики пористых корпускулярных тел          |
|  | <b>Владеет</b> физико-химическими основами приготовления катализаторов методом осаждения                          | Вопросы к экзамену № 1-37 | С ошибками владеет физико-химическими основами приготовления катализаторов методом осаждения                                | При консультации преподавателя владеет физико-химическими основами приготовления катализаторов методом осаждения                          | Самостоятельно владеет физико-химическими основами приготовления катализаторов методом осаждения                  |
| <b>ОПК-3.4</b><br>Инженерные основы приготовления катализаторов методами смешения  | <b>Знает</b> факторы, влияющие на глубину взаимодействия компонентов в катализаторах, полученных методом смешения |                           | С ошибками перечисляет факторы, влияющие на глубину взаимодействия компонентов в катализаторах, полученных методом смешения | С помощью преподавателя рассказывает факторы, влияющие на глубину взаимодействия компонентов в катализаторах, полученных методом смешения | Рассказывает факторы, влияющие на глубину взаимодействия компонентов в катализаторах, полученных методом смешения |
|  | <b>Умеет</b> рассчитывать кинетические характеристики взаимодействия компонентов в процессе                       | Вопросы к экзамену № 1-37 | С ошибками способен рассчитывать кинетические характеристики взаимодействия   | С помощью преподавателя способен рассчитывать кинетические характеристики   | Самостоятельно способен рассчитывать кинетические характеристики взаимодействия                                   |



|   |  |                           |  |  |  |
|---|--|---------------------------|--|--|--|
|   | механического смешения   |                           | компонентов в процессе механического смешения  | взаимодействия компонентов в процессе механического смешения   | компонентов в процессе механического смешения  |
|   | <b>Владеет</b> физико-химическими основами приготовления катализаторов методом смешения  | Вопросы к экзамену № 1-37 | С ошибками владеет физико-химическими основами приготовления катализаторов методом смешения  | При консультации преподавателя владеет физико-химическими основами приготовления катализаторов методом смешения  | Самостоятельно владеет физико-химическими основами приготовления катализаторов методом смешения  |
| <b>ОПК-4.2</b><br>Организация процессов термической обработки катализаторов | <b>Знает</b> закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении массивных и нанесенных предшественников активного компонента | Задачи 1-5                | С ошибками перечисляет закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении массивных и нанесенных предшественников активного компонента | С помощью преподавателя рассказывает закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении массивных и нанесенных предшественников активного компонента | Рассказывает закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении массивных и нанесенных предшественников активного компонента |
|   | <b>Умеет</b> рассчитывать кинетические характеристики разложения объемных и нанесенных соединений в процессе термообработки.                                 | Задачи 1-5                | С ошибками способен рассчитывать кинетические характеристики разложения объемных и нанесенных соединений в процессе термообработки                                     | С помощью преподавателя способен рассчитывать кинетические характеристики разложения объемных и нанесенных соединений в процессе термообработки                                      | Самостоятельно способен рассчитывать кинетические характеристики разложения объемных и нанесенных соединений в процессе термообработки                       |
|   | <b>Владеет</b> методиками оптимизации процессов термообработки и восстановления катализаторов  | Задачи 1-5                | С ошибками владеет методиками оптимизации процессов термообработки и восстановления катализаторов  | При консультации преподавателя владеет методиками оптимизации процессов термообработки и восстановления катализаторов  | Самостоятельно владеет методиками оптимизации процессов термообработки и восстановления катализаторов  |

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 ОПК-3:**

1. Основные проблемы катализа. Цели и задачи научных основ приготовления катализаторов. Связь НОПК с другими дисциплинами. Принципы классификации катализаторов
2. Методы получения дисперсных систем. Основные этапы и методы приготовления катализаторов
3. Основные механизмы изменения удельной поверхности при приготовлении катализаторов
4. Текстуры свойства носителей и массивных катализаторов, их зависимость от условий приготовления.
5. Представления об оптимальной пористой структуре катализатора. Способы регулирования текстурных свойств и химического состояния поверхности.
6. Механическая прочность массивных тел. Механизмы разрушения и природа сил, вызывающих разрушение. Адгезионная прочность и работа адгезии. Теория Ребиндера – Щукина. Способы повышения прочности пористых твердых тел.
7. Роль носителей в катализаторах. Основные способы получения носителей.
8. Оксид алюминия в катализе. Физико-химические свойства. Получение различных оксидов алюминия дегидратацией гидрата, байерита и псевдобемита.
9. Силикагель и его физико-химические свойства. Особенности формирования текстуры силикагелей при получении по золь-гель методу и через коагель.
10. Оксид магния в катализе. Методы получения и физико-химические свойства.
11. Оксиды титана и циркония как носители. Методы получения и физико-химические свойства.
12. Углеродные носители в катализе. Их физико-химические свойства, основные методы получения и регулирования химического состояния поверхности.
13. Основные этапы получения массивных катализаторов методом осаждения. Химические подходы и технологические приёмы осаждения. Зависимость свойств осадков от способа осаждения и основных параметров стадии осаждения.
14. Классификация гидроксидов металлов по физико-химическим свойствам и кинетике старения в зависимости от заряда катиона в гидроксиде.
15. Общая схема формирования осадков индивидуальных гидроксидов при коллоидно-химическом осаждении.
16. Причины старения осадков под маточным раствором и основные процессы, протекающие при старении.
17. Основы классической теории конденсации (кристаллизации).
18. Особенности кристаллизации труднокристаллизующихся гидроксидов. Теория кристаллизации по механизму ориентированного наращивания.
19. Физико-химические аспекты золь-гель метода осаждения однокомпонентных систем (на примере алкоксидов как предшественников).
20. Соосаждение гидроксидов как метод приготовления многокомпонентных катализаторов. Классификация уровней взаимодействия гидроксидов на стадии соосаждения.
21. Основные достоинства и проблемы приготовления двухкомпонентных оксидных систем золь-гель методом (через алкоксиды).
22. Основные характеристики нанесенных катализаторов, их зависимость от условий приготовления.
23. Общие представления о процессах, протекающих при формировании нанесённых катализаторов. Пропиточные и сорбционные катализаторы. Уравнение материального баланса пропитки.

24. Закономерности формирования активного компонента в катализаторах, получаемых методом пропитки. Однократная и многократная пропитки.
25. рН изоэлектрической точки носителей, способы её определения. Зависимость от заряда катиона и структуры оксидных носителей, роль примесей.
26. Функциональные группировки на поверхности традиционных носителей и их роль в формировании нанесенных катализаторов.
27. Механизмы адсорбции соединений металлов на поверхности оксидных и углеродных носителей. Прогнозирование адсорбционных свойств носителей в отношении растворённых предшественников катализаторов.
28. Основные проблемы приготовления нанесенных многокомпонентных систем в рамках различных методов синтеза катализаторов. Подходы к достижению однородности состава частиц активного компонента.
29. Типы распределения активного компонента по зерну носителя в нанесенных катализаторах. Причины возникновения его неравномерного распределения при получении адсорбционно-пропиточных катализаторов.
30. Получение многокомпонентных катализаторов методом механического смешения. Способы интенсификации процесса смешения.
31. Механохимический синтез.
32. Термообработка катализаторов. Закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении солей и гидроксидов.
33. Спекание пористых тел. Факторы, влияющие на кинетику спекания массивных катализаторов.
34. Твердофазные реакции. Взгляды на механизмы твердофазного взаимодействия оксидов. Факторы, определяющие глубину твердофазного взаимодействия.
35. Физико-химические основы метода термохимической активации кристаллических соединений. Термохимическая активация гиббсита, свойства получаемого продукта.
36. Термическая стабильность нанесенных катализаторов и общие подходы к её повышению. Редиспергирование катализаторов. Термическая стабильность массивных и нанесенных катализаторов. Подходы повышения термической стабильности.
37. Современные нетрадиционные методы приготовления носителей и катализаторов.

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

**Задача 1.**

Нанесенные платиновые катализаторы готовят методом адсорбции  $\text{H}_2\text{PtCl}_6$  на поверхности пористого оксида алюминия из избытка (по отношению к влагоемкости) пропиточного раствора. После отделения катализатора от пропиточного раствора его сушат и прокаливают на воздухе. Процесс адсорбции проводят в условиях, описываемых уравнением Генри. Определите:

1. Количество платины  $g$  (г), которое будет нанесено на поверхность носителя в равновесных условиях при использовании *капиллярного или диффузионного* режимов пропитки .

2. Максимальное значение параметра сорбции  $P_{max}$ , определяемого как отношение количества *адсорбированной* платины к ее *неадсорбированной* части. Каков физический смысл полученного выражения?

*Дано:*

$C_o$  - начальная концентрация платины в пропиточном растворе (г/см<sup>3</sup>).

$m$  - масса носителя (1г).

$V_{пор.}$  - объем пор носителя (см<sup>3</sup>/г)

$V_o = n V_{пор.}$  - объем пропиточного раствора

$a_{max}$  - предельная сорбционная емкость носителя по Pt( г/г носителя)

$b$  - константа адсорбционного равновесия (см<sup>3</sup>/г)

### Задача 2

В реакции гидрирования бензола (*структурно-нечувствительная*) в качестве катализатора используют металлический никель, нанесенный на гамма-оксид алюминия. Для выбора наилучшего способа приготовления данного катализатора проводят оценку каталитических свойств двух одинаковых навесок образцов катализатора, полученных соответственно методом смешения оксидов никеля и гидроксида алюминия (образец 1) и методом пропитки оксида алюминия раствором азотнокислого никеля (образец 2). После сушки образцы были прокалены на воздухе при 600 °С и восстановлены в токе водорода при 500 °С. Оцените, какой из способов приготовления позволяет получать катализаторов, обладающий *лучшими эксплуатационными и технологическими характеристиками*, если известны следующие данные о катализаторах:

| Образец, метод приготовления | Содержание никеля, g, мас. % | Степень восстановления никеля, X, % | Форма частиц никеля | Размер частиц никеля, d, нм | Пористая структура катализатора | Механическая прочность |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 1<br>механическое смешение   | 35                           | 90                                  | сферическая         | 6                           | Одинаковая                      | Одинаковая             |
| 2<br>пропитка                | 15                           | 70                                  | сферическая         | 2                           |                                 |                        |

### Задача 3

Одним из способов приготовления железо-магниевого катализатора является метод соосаждения. Процесс соосаждения проводят при постоянном значении pH путем приливания раствора щелочи к раствору смеси солей железа и магния. Приготовление бинарных растворов солей осуществляют смешением 0.1M растворов исходных солей железа и магния, взятых в мольном соотношении Fe(III) : Mg(II) = 4 : 1

Оцените минимальную величину pH, при которой необходимо проводить осаждение, чтобы в осадок одновременно выпадали оба гидроксида. Возможным взаимодействием между компонентами в смешанных растворах до стадии образования осадков пренебречь.

### Задача 4

При получении катализаторов методом осаждения иногда формовку приходится проводить методом прессования прокаленного образца. Как методом сухого прессования без связующего получить таблетки катализатора с бидисперсной пористой структурой, в которых радиус тонких пор  $r_1=100\text{Å}$ , радиус макропор  $r_2=20000\text{Å}$ , суммарная пористость  $\varepsilon=0,7$ . В качестве исходного материала имеется прокаленный образец, состоящий из бесформенных гранул размером 1-5 мм с пористостью  $\varepsilon=0,5$  и средним размером (радиусом) пор  $100\text{Å}$ .

## Задача 5

Напишите возможные химические реакции, протекающие при сорбции  $\text{TiCl}_4$  из неводных растворов на поверхности  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$ . Химический анализ показал, что после сорбции и последующего вакуумирования с целью удаления растворителя атомное соотношение  $\text{Cl/Ti}$  в полученных катализаторах равно соответственно 2 и 4. С помощью метода ИК - спектроскопии установлено, что процесс сорбции сопровождается исчезновением полос гидроксильных групп. Дополнительно известно, что триэтилалюминий (ТЭА) не реагирует с оксидом магния, но прочно закрепляется на поверхности силикагеля.

При сдаче экзамена студент получает три вопроса из перечня, приведенного выше. Время подготовки студента к устному ответу на вопросы – до 45 мин.

### **4. Темы курсовых работ.**

Не предусмотрены.

### **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.