

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 13.09.2023 17:39:21  
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  
« 26 » января 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПРОЦЕССЫ МАССОПЕРЕНОСА В СИСТЕМАХ С УЧАСТИЕМ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ**

Направление подготовки

**18.04.01 Химическая технология**

Направленность программы магистратуры

**Химическая технология композиционных и наноматериалов для современной техники**

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **химии веществ и материалов**

Кафедра **Химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов**

Санкт-Петербург

2021

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

| Должность разработчика | Подпись | Ученое звание,<br>фамилия, инициалы |
|------------------------|---------|-------------------------------------|
| Доцент                 |         | доцент Козлов В.В.                  |

Рабочая программа дисциплины «Процессы массопереноса в системах с участием твердой фазы» обсуждена на заседании кафедры теоретических основ материаловедения протокол от «19» января 2021 № 4  
Заведующий кафедрой

И.Б. Пантелеев

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов протокол от «21» января 2021 № 5

Председатель

С.Г.Изотова

## СОГЛАСОВАНО

|   |  |                 |
|---|--|-----------------|
| Руководитель направления подготовки<br>«Химическая технология»    |  | М.В. Рутго      |
| Директор библиотеки   |  | Т.Н.Старостенко |
| Начальник методического отдела<br>учебно-методического управления |  | Т.И.Богданова   |
| 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 в структуре образовательной программы .....   | 06 |
| 3. Объем дисциплины .....   | 06 |
| 4. Содержание дисциплины  |    |
| 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....  | 07 |
| 4.2. Занятия лекционного типа .....   | 08 |
| 4.3. Занятия семинарского типа .....  | 09 |
| 4.3.1. Семинары, практические занятия .....   | 08 |
| 4.3.2. Лабораторные работы .....  | 10 |
| 4.4. Самостоятельная работа обучающихся .....   | 10 |
| 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....                                       | 11 |
| 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....   | 11 |
| 7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....  | 11 |
| 8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины .....   | 12 |
| 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....   | 12 |
| 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине                                |    |
| 10.1. Информационные технологии .....   | 13 |
| 10.2. Программное обеспечение .....   | 13 |
| 10.3. Базы данных и информационные справочные системы .....   | 13 |
| 11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы .....                                 | 13 |
| 12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....  | 14 |
| <br>  |    |
| Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....   | 15 |

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

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>ПК-3</b> Способен к анализу новых технологий и разработке рекомендаций по составу и способам обработки материалов с целью достижения требуемого набора физико-механических и эксплуатационных свойств</p> | <p>ПК-3.5 Анализ новых технологий и разработка рекомендаций по составу и способам обработки материалов с целью достижения требуемого набора физико-механических и эксплуатационных свойств</p> | <p><b>Знать:</b><br/>современные теоретические положения о процессах массопереноса в системах с участием твердой фазы и науки о спекании (ЗН-1)</p> <p><b>Уметь:</b><br/>провести научно-обоснованный анализ процессов массопереноса в системах с участием твердой фазы (У-1)</p> <p><b>Владеть:</b><br/>методами подбора состава и обработки силикатных материалов для обеспечения требуемого уровня физико-механических и эксплуатационных свойств (Н-1)</p> |
| <p><b>ПК-4</b> Способен к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору современных приборов и методик для решения научно-исследовательской задачи</p> | <p>ПК-4.2 Решение научно-исследовательских задач на основе анализа научно-технической информации и выбора современных методов исследования в области силикатных технологий</p>                 | <p><b>Знать:</b><br/>физико-химические основы методов процессов массопереноса в системах с участием твердой фазы (ЗН-2)</p> <p><b>Уметь:</b><br/>выбрать современные приборы и методики для решения научно-исследовательской задачи в области процессов массопереноса в системах с участием твердой фазы (У-2)</p>   |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Планируемые результаты обучения (дескрипторы)   |
|--------------------------------|--|---|
|                                |  | <b>Владеть:</b><br>современными методиками исследования процесса консолидации силикатных материалов (Н-2) |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Процессы массопереноса в системах с участием твердой фазы» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы магистратуры (Б1.В.ДВ.02.02) и является дисциплиной по выбору. Изучается на первом курсе, в 1 и 2 семестрах.

Перечень дисциплин, необходимых для изучения дисциплины «Процессы массопереноса в системах с участием твердой фазы»: физика, математика, общая и неорганическая химия, органическая химия, теоретические основы силикатных технологий, силикатные материалы и их основные свойства. Дисциплина продолжает общетехническую подготовку специалистов, создающую теоретическую базу для профильных дисциплин.

## 3. Объем дисциплины.

| Вид учебной работы   | Всего,<br>ЗЕ/академ. часов |
|--|----------------------------|
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b><br>(зачетных единиц/ академических часов) | <b>7/252</b>               |
| <b>Контактная работа с преподавателем:</b>                                     | <b>139</b>                 |
| занятия лекционного типа   | 54                         |
| занятия семинарского типа, в т.ч.  | 69                         |
| семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)           | 18 (4)                     |
| лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)                      | 51 (25)                    |
| курсовое проектирование (КР или КП)  | 16                         |
| КСР  | -                          |
| другие виды контактной работы  | -                          |
| <b>Самостоятельная работа</b>  | <b>86</b>                  |
| <b>Форма текущего контроля</b>   | <b>доклад</b>              |
| <b>Форма промежуточной аттестации</b>  | <b>КР, Экзамен / 27</b>    |

#### 4. Содержание дисциплины.

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

| №<br>п/п | Наименование<br>раздела дисциплины  | Занятия лекционного типа,<br>академ. часы | Занятия<br>семинарского<br>типа,<br>академ. часы |                        | Самостоятельная работа,<br>академ. часы | Формируемые компетенции | Формируемые индикаторы |
|----------|---|---|--|------------------------|---|-------------------------|------------------------|
|          |   |   | Семинары и/или<br>практические<br>занятия        | Лабораторные<br>работы |   |                         |                        |
| 1.       | Диффузионные процессы массопереноса – общие закономерности, массоперенос при спекании высокотемпературных материалов. | 20  | 8  | 18                     | 32                                      | ПК-3                    | ПК-3.5                 |
| 2.       | Жидкофазное спекание высокотемпературных материалов.  | 14  | 0  | 16                     | 22                                      | ПК-3                    | ПК-3.5                 |
| 3.       | Процессы теплопереноса при термообработке и эксплуатации высокотемпературных материалов и изделий.                    | 20  | 10   | 17                     | 32                                      | ПК-4                    | ПК-4.2                 |

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|---|-------------------|---------------------|
| 1                    | Диффузионные процессы массопереноса – общие закономерности, массоперенос при спекании высокотемпературных материалов. Общие закономерности диффузионных процессов, закон Фика, диффузия в газах жидкостях и в твёрдых материалах. Диффузия в кристаллах, самодиффузия объёмная и поверхностная, дефекты кристаллической решётки, их влияние на процессы диффузии и самодиффузии, критический размер пор. Механизмы массопереноса в твёрдофазном спекании высокотемпературных материалов. Стадии твёрдофазного спекания высокотемпературных материалов. Модели кинетики спекания высокотемпературных материалов. Движущая сила и способы интенсификации твёрдофазного спекания высокотемпературных материалов. | 20                | Л, ЛВ               |
| 2                    | Жидкофазное спекание высокотемпературных материалов. Механизм и стадии жидкофазного спекания высокотемпературных материалов, влияние технологических факторов.  | 14                | Л, ЛВ               |
| 3                    | Процессы теплопереноса при термообработке и эксплуатации высокотемпературных материалов и изделий. Методики моделирования температурных полей в высокотемпературных материалах и изделиях при их термообработке и эксплуатации в условиях задач стационарной и нестационарной теплопроводности. Моделирование температурных полей и тепловых потерь через многослойные огнеупорные футеровки высокотемпературных промышленных агрегатов.  | 20                | Л, ЛВ               |

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Практические занятия.

| №<br>раздела<br>дисциплины | Наименование темы<br>и краткое содержание занятия   | Объем,<br>акад. часы |  | Инновационная<br>форма |
|----------------------------|---|----------------------|--|------------------------|
|                            |   | всего                | В том числе на<br>практическую<br>подготовку |                        |
| 1                          | <p>Диффузионные процессы массопереноса – общие закономерности, массоперенос при спекании высокотемпературных материалов.</p> <p>Расчёт кинетики (динамики изменения пористости и линейной усадки) твёрдофазного спекания высокотемпературных материалов.</p>  | 8                    | 2  |                        |
| 3                          | <p>Процессы теплопереноса при термообработке и эксплуатации высокотемпературных материалов и изделий.</p> <p>Моделирование температурных полей в высокотемпературных изделиях (в нестационарных условиях) в процессе их термообработки по заданному режиму – разогрев и выдержка при максимальной температуре, с применением специализированного ПО.</p> <p>Моделирование температурных полей и тепловых потерь через многослойные огнеупорные футеровки в условиях задачи стационарной теплопроводности.</p> | 10                   | 2  | КтСм                   |

#### 4.3.2. Лабораторные работы

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы |   | Примечания |
|----------------------|---|-------------------|---|------------|
|                      |   | всего             | в том числе на практическую подготовку* |            |
| 1                    | Исследование влияния параметров твёрдофазного спекания на степень спекания высокотемпературных материалов | 18                | 9                                       |            |
| 2                    | Исследование влияния параметров жидкофазного спекания на степень спекания высокотемпературных материалов  | 16                | 8                                       |            |
| 3                    | Компьютерное моделирование температурных полей в изделиях и футеровках                                    | 17                | 8                                       |            |

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

| № раздела дисциплины | Перечень вопросов для самостоятельного изучения  | Объем, акад. часы | Форма контроля              |
|----------------------|--|-------------------|-----------------------------|
| 1                    | Диффузионные процессы массопереноса – общие закономерности, массоперенос при спекании высокотемпературных материалов. Спекание оксидных высокотемпературных материалов, огнеупорных карбидов, нитридов, боридов и силицидов.   | 32                | Устный или письменный опрос |
| 2                    | Жидкофазное спекание высокотемпературных материалов. Применение спекающих добавок, формирующих жидкую фазу (в том числе эвтектического состава), в технологии высокотемпературных материалов. Влияние параметров жидкой фазы (расплава) на спекание огнеупорных материалов.  | 22                | Устный или письменный опрос |
| 3                    | Процессы теплопереноса при термообработке и эксплуатации высокотемпературных материалов и изделий. Теплопроводность, температуропроводность, теплоёмкость огнеупорных материалов. Влияние пористости на теплопроводность высокотемпературных материалов, модели оценки коэффициента теплопроводности многофазных высокотемпературных материалов. Изменение коэффициента теплопроводности в процессе эксплуатации высокотемпературных материалов. | 32                | 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: <https://media.technolog.edu.ru>

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

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

К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения заданных элементов компетенций и комплектуется вопросами (заданиями) теоретического характера.

При сдаче экзамена студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу – до 30 мин.

Пример варианта заданий на экзамене:

### **Вариант № 1**

1. Диффузия в кристаллах с дефектами, критический размер пор.
2. Устойчивость огнеупоров в газовых средах.

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 учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.**

### **а) печатные издания:**

1. Кашеев, И.Д. Химическая технология огнеупоров: учебное пособие для студентов вузов / И.Д. Кашеев, К.К. Стрелов, П.С. Мамыкин – Москва : Интермет Инжиниринг, 2007. – 747 с. ISBN 978-5-89594-146-1

2. Суворов С.А. Технология огнеупоров [Текст]: учебное пособие / С.А. Суворов, Т.М. Сараева, В.В. Козлов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии высокотемпературных материалов. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2012. – 149 с.

3. Суворов, С.А. Процессы разрушения, оптимизация свойств и выбор высокотемпературных наноструктурированных материалов: Учебное пособие / С.А. Суворов, В.В. Козлов, Н.В. Арбузова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии высокотемпературных материалов. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2013. – 133 с.

4. Основы технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: учебное пособие для вузов / А.П. Зубехин, С.П. Голованова, Е.А. Яценко [и др.]. – Москва: Картэк, 2010 – 307 с. ISBN 978-5-9901582-2-1

5. Пантелеев, И. Б. Теоретические основы технологии керамики [Текст]: учебное пособие / И. Б. Пантелеев, Л. В. Козловский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии тонкой технической керамики. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 114 с.

**б) электронные издания:**

1. Орданьян, С.С. Проектирование состава, структуры и свойств керамических конструкционных наноматериалов: учебное пособие / С.С. Орданьян, А.Е. Кравчик; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии тонкой технической керамики. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. – 84 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 19.01.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

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

1. Учебный план, РПД и учебно-методические материалы - [media.technolog.edu.ru](http://media.technolog.edu.ru)
2. ЭБ "Библиотех" СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
3. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет

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

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

1. СТО СПбГТИ (ТУ) 039-2013. КСУКДВ. Магистратура. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).– Введ. с 2013-01-01.– СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.– 29 с.
2. СТП СПбГТИ 040-02. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования./ СПбГТИ(ТУ).– Введ. с 01.07.2002.– СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2002.– 7 с.
3. СТО СПбГТИ(ТУ) 020-2011. Виды учебных занятий. Лабораторные работы. Общие требования к организации и проведению занятий./ СПбГТИ(ТУ).– Введ. с 01.07.2011.– СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2011.– 21 с.
4. СТП СПбГТИ 048-2009. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению./ СПбГТИ(ТУ).– Введ. с 01.01.2010.– СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.– 6 с.
5. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов./ СПбГТИ(ТУ).– Введ. с 01.06.2015. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.– 45 с.
6. СТП СПбГТИ(ТУ) 018-02. Виды учебных занятий. Практические и семинарские занятия. Общие требования к организации и проведению. / СПбГТИ(ТУ). – Введ. с 01.09.2002. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2002. – 6 с.

В ходе лекционных занятий магистранту необходимо готовить конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Провести проверку терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

Аудиторная часть курса должна сопровождаться интенсивной самостоятельной работой магистрантов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет по всем разделам дисциплины. Плани-

рование времени для изучения дисциплины необходимо осуществлять на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо в рамках внеаудиторной самостоятельной работы регулярно дополнять сведениями из литературных источников, приведенных в разделе 7 настоящей программы. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, требующих запоминания и необходимых для освоения следующих разделов учебной дисциплины. Для расширения и углубления знаний по учебной дисциплине необходимо активно использовать информационные ресурсы сети Интернет.

Для работы на лабораторных занятиях необходимы: проработка рабочей программы, уделив особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины, и конспектирование источников, а также изучение конспекта лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам и просмотр рекомендуемой литературы.

## **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 ЭИОС.

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

- Microsoft Windows;
- Microsoft Office (Microsoft Excel, Microsoft Word)
- Elcut (студенческая версия)

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

Справочно-поисковая система «Консультант-Плюс»

## **11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы.**

Реализация программы учебной дисциплины не предполагает наличия специализированного учебного кабинета при условии соответствия учебных кабинетов санитарным нормам, а его оборудования – изложенным ниже требованиям:

1. Учебная аудитория на 25 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.
5. Комплект презентаций и видеофильмов по дисциплине.

Лабораторные занятия проводятся в учебном кабинете, отвечающем санитарным нормам, а его оборудование – следующим требованиям:

1. Учебная аудитория на 25 и более мест
2. Персональные компьютеры для обучающихся.
3. Мультимедиа-проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.

Для проведения лабораторных работ используется следующее оборудование:

1. Анализатор размера частиц;
2. Дилатометр кварцевый ДКВ-4,
3. Гидравлические пресса с усилием 10 и 50 т.;
4. Установка для определения модуля Юнга, коэффициента Пуассона и скорости распространения звука в материале «Звук-130»;
5. Весы электронные аналитические, электронные технические;
6. Весы механические;
7. Лабораторные печи с карбидкремниевыми и дисилицидмолибденовыми нагревателями с рабочей температурой до 1600<sup>0</sup>С;
8. Сушильные шкафы;
9. Установка для определения температуры начала деформации под нагрузкой;
10. Установка вакуумирования;
11. Лабораторная посуда: колбы, мерные цилиндры, чаши, тигли.

**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 «Процессы массопереноса в системах с участием твердой фазы»**

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

| Индекс компетенции | Содержание   | Этап формирования |
|--------------------|--|-------------------|
| ПК-3               | Способен к анализу новых технологий и разработке рекомендаций по составу и способам обработки материалов с целью достижения требуемого набора физико-механических и эксплуатационных свойств | промежуточный     |
| ПК-4               | Способен к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору современных приборов и методик для решения научно-исследовательской задачи | 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<br>(описание выраженности дескрипторов)                                    |   |  |
|---|---|--------------------------------------|--|---|--|
|   |   |                                      | «удовлетворительно»<br>(пороговый)   | «хорошо»<br>(средний)   | «отлично»<br>(высокий)   |
| ПК-3.5 Анализ новых технологий и разработка рекомендаций по составу и способам обработки материалов с целью достижения требуемого набора физико-механических и эксплуатационных свойств | <b>Перечисляет</b> современные теоретические положения о процессах массопереноса в системах с участием твердой фазы и науки о спекании (ЗН-1) | Ответы на вопросы №1 - 16 к экзамену | Имеет представление о природе процессов массопереноса при спекании высокотемпературных материалов. | Правильно рассказывает о диффузионных процессах массопереноса при твердофазном и жидкофазном спекании высокотемпературных материалов. | В полной мере перечисляет механизмы массопереноса при твердофазном и жидкофазном спекании высокотемпературных материалов, приводит примеры диффузионных механизмов спекания. |
|   | <b>Объясняет</b> принципы проведения научно-обоснованного анализа процессов массопереноса в системах с участием твердой фазы (У-1)            | Ответы на вопрос №18 к экзамену      | Имеет представление о моделировании диффузионного спекания высокотемпературных материалов.         | Перечисляет модели диффузионного спекания высокотемпературных материалов с указанием механизмов массопереноса.                        | Уверенно анализирует письменно формулы моделей диффузионного спекания высокотемпературных материалов с указанием механизмов массопереноса.                                   |
|   | <b>Демонстрирует</b> владение методами подбора состава и обработки силикатных   | Ответ на вопрос №17 к экзамену       | Имеет представление о макрокинетике диффузионного  | Демонстрирует формулы кинетики изменения  | Уверенно решает задачи кинетики изменения  |

|   |  |                                     |  |   |   |
|---|--|-------------------------------------|--|---|---|
|   | материалов для обеспечения требуемого уровня физико-механических и эксплуатационных свойств (Н-1)  |                                     | спекания порошков.   | макропоказателей спекания (пористость, усадка) высокотемпературных материалов.  | макропоказателей спекания (пористость, усадка) высокотемпературных материалов, приводит примеры спекания высокотемпературных материалов.  |
| ПК-4.2 Решение научно-исследовательских задач на основе анализа научно-технической информации и выбора современных методов исследования в области силикатных технологий | <b>Перечисляет</b> физико-химические основы методов процессов массопереноса в системах с участием твердой фазы (ЗН-2)  | Ответы на вопросы №18-21 к экзамену | Имеет представление о процессах теплопереноса при обжиге и эксплуатации огнеупорных изделий, материалов и футеровок. | Перечисляет основные принципы и механизмы переноса тепла при обжиге и эксплуатации огнеупорных изделий, материалов и футеровок.                                     | Уверенно записывает формулы для выполнения расчёта температурных полей и тепловых потерь в высокотемпературных футеровках и изделиях в нестационарных условиях.                     |
|   | <b>Объясняет</b> принципы выбора современных приборов и методик для решения научно-исследовательской задачи в области процессов массопереноса в системах с участием твердой фазы (У-2) | Ответы на вопросы №22-24 к зачёту   | Имеет представление о моделировании тепловых потерь в условиях стационарной и нестационарной задач теплопроводности. | Демонстрирует моделирование температурных полей и тепловых потерь в условиях стационарной и нестационарной задач теплопроводности с помощью специализированного ПО. | Уверенно выполняет задания по моделированию температурных полей и тепловых потерь в условиях стационарной и нестационарной задач теплопроводности с помощью специализированного ПО. |

|  |   |   |   |   |  |   |
|--|---|---|---|---|--|---|
|  |   |   |   |   | ПО, демонстрирует понимание основ математического моделирования.   |   |
|  | Демонстрирует современными исследования консолидации материалов (Н-2) | владение методиками процесса силикатных | Ответы на вопросы №25-26 к зачёту; Защита курсовой работы | Имеет представление о граничных условиях задач теплопроводности, принципах моделирования стационарных тепловых потоков. | Имеет представление о граничных условиях задач теплопроводности, принципах моделирования стационарных и нестационарных тепловых потоков. | Уверенно разбирается в граничных условиях задач теплопроводности, принципах моделирования стационарных и нестационарных тепловых потоков. |

**3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации**  
**а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-3:**

1. Общие закономерности диффузионных процессов, закон Фика.
2. Внешняя и внутренняя диффузия, критерий Био.
3. Коэффициент диффузии в твердых веществах, жидкостях и газах.
4. Виды дефектов в кристаллах, их влияние на коэффициент самодиффузии.
5. Влияние формы поверхности кристалла на концентрацию вакансий.
6. Самодиффузия, влияние температуры на коэффициент самодиффузии.
7. Поверхностная диффузия, эффект Ребиндера.
8. Диффузия в кристаллах с дефектами, критический размер пор.
9. Жидкофазное и твердофазное спекание керамических материалов.
10. Механизмы массопереноса твердофазного спекания.
11. Объемная самодиффузия.
12. Поверхностная диффузия.
13. Вязкое течение при спекании.
14. Стадии твердофазного спекания.
15. Движущая сила процесса спекания.
16. Способы интенсификации диффузионного спекания.
17. Макрокинетика диффузионного спекания порошков, скорость изменения объема (объемная усадка).
18. Модели диффузионного спекания высокотемпературных материалов.

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

19. Механические свойства спеченных материалов, теория Гриффитса, зависимость механической прочности от пористости.
20. Термические напряжения первого рода.
21. Теплоперенос, сравнение закона Фика и закона Фурье.
22. Механизмы переноса тепла.
23. Закон Фурье, коэффициент теплопроводности.
24. Граничные условия в задачах теплопроводности.
25. Моделирование тепловых потерь через плоскую многослойную стенку (футеровку).
26. Метод конечных элементов в моделировании температурного поля.

**4 Темы курсовых работ:**

1. Расчёт тепловых потерь через огнеупорную футеровку вращающейся печи обжига магнезита.
2. Расчёт тепловых потерь через огнеупорную футеровку вращающейся печи обжига известняка.
3. Расчёт тепловых потерь через огнеупорную футеровку вращающейся печи обжига портландцементного клинкера.
4. Расчёт тепловых потерь через огнеупорную футеровку сталеразливочного ковша.
5. Расчёт тепловых потерь через огнеупорную футеровку туннельной печи обжига керамических изделий.
6. Расчёт температурного поля, формирующегося в объёме изделия, при обжиге шамотного тигля для плавки силикатных стёкол.
7. Расчёт температурного поля, формирующегося в объёме изделия, при обжиге периклазового вкладыша шиберного затвора.

**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 СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ Порядок проведения зачетов и экзаменов.

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме защиты курсового проекта (курсовой работы), экзамена и зачёта.

Шкала оценивания на экзамене балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»), на зачёте – «зачёт», «незачет». При этом «зачёт» соотносится с пороговым уровнем сформированности компетенции.