

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 18.07.2023 21:51:11  
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  
« 21 » сентября 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Технология малотоннажных продуктов**

Направление подготовки

**18.03.01 Химическая технология**

Направленность программы бакалавриата

**«Технология неорганических веществ и минеральных удобрений»**  
**«Химическая технология неорганических веществ»**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **химии веществ и материалов**

Кафедра **технологии неорганических веществ**

Санкт-Петербург

2022

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	05
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
4.2. Занятия лекционного типа.....	07
4.3. Занятия семинарского типа .....	08
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	08
4.4. Самостоятельная работа .....	08
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	09
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	10
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	10
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины	11
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	11
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	12
10.1. Информационные технологии .....	12
10.2. Программное обеспечение .....	12
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	12
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	12
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.....	12

Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

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

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

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-1</b> Способен планировать мероприятия, направленные на улучшение технологических показателей, качества выпускаемой продукции, сокращение потерь, снижение операционных затрат при реализации химико-технологических процессов</p>	<p><b>ПК-1.1</b> Физико-химические основы технологии очистки веществ, технологических схем производства особо чистых веществ</p>	<p><b>Знать:</b> – методики расчёта предельно достижимых концентраций примесей в зависимости от метода очистки; <b>Уметь:</b> – составлять и обосновывать технологическую схему производства конкретного особо чистого вещества; <b>Владеть:</b> – навыками контроля эффективности технологического процесса получения особо чистых веществ.</p>
	<p><b>ПК-1.2</b> Технологии производства монокристаллов различной степени чистоты</p>	<p><b>Знать:</b> – нормативные требования к сырью и промежуточным продуктам; <b>Уметь:</b> – вносить коррективы в режимы работы оборудования в зависимости от отклонений в составе сырья, параметры подачи сырья и энергии; <b>Владеть:</b> – навыками контроля эффективности технологического процесса получения монокристаллов.</p>

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

Дисциплина относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.02), и изучается на 4 курсе в 7 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Математика», «Общая и неорганическая химия», «Общая химическая технология», «Процессы и аппараты химической технологии», «Физическая химия», «Химическая технология неорганических веществ». Полученные в процессе изучения дисциплины «Технология малотоннажных производств» знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплин «Оборудование и основы проектирования производств неорганического синтеза», «Технология соды, щелочей и глинозема», 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>4/144</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>60</b>
занятия лекционного типа	18
занятия семинарского типа, в т.ч.:	36
семинары, практические занятия (в т.ч. на практическую подготовку)	36 (5)
лабораторные работы	–
курсовое проектирование (КР или КП)	–
КСР	6
другие виды контактной работы	–
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>57</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.	Технология особо чистых веществ	6	9	–	20	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2
2.	Технология особо чистого кремния	4	9	–	20	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2
3.	Технология монокристаллов	8	18	–	17	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2

##### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<u>Технология особо чистых веществ.</u> Определение степени чистоты вещества. Термодинамическое определение работы при очистке вещества от примесей. Квалификация чистоты вещества. Роль уровня чистоты в потребительских свойствах веществ. Требования к материалам реакторов в технологии особо чистых веществ. Методы очистки веществ. Виды примесей и формы их вхождения в твёрдую фазу. Методы очистки для гомогенных систем. Методы очистки для гетерогенных систем. Химические методы очистки. Химическое осаждение Оценка предельной степени очистки. Дистилляция и ректификация. Экстракция. Ионный обмен и адсорбция.	6	ЛВ
2	<u>Технология особо чистого кремния.</u> Свойства кремния. Использование особо чистого кремния в технике. Принципы технологии кремния высокой чистоты. Технология металлургического кремния. Двухстадийная технология карботермического восстановления. Алюмотермическая технология кремния. Технология очистки металлургического кремния. Хлорсилановые технологии очистки («Сименс-процесс»). Моносилановая технология	4	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	очистки.		
3	<p><u>Технология монокристаллов.</u>  Химические соединения, полученные в виде монокристаллов. Использование монокристаллов в технике.  Механизмы роста монокристаллов. Роль пересыщения. Консервативные методы выращивания монокристаллов. Метод Вернейля. Зонная плавка с различными способами нагрева. Неконсервативные методы выращивания монокристаллов. Метод Бриджмена – Стокбаргера. Метод Киропулоса. Метод Чохральского. Спонтанный рост из раствора в расплаве. Метод Степанова. Гидротермальный метод выращивания монокристаллов.  Аппаратное оформление процесса роста монокристаллов. Материалы, используемые в технологии монокристаллов.  Дефекты кристаллов. Способы управления качеством растущего кристалла.</p>	8	ЛВ

#### 4.3. Занятия семинарского типа.

##### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку*	
1	Способы выражения концентраций веществ, пересчет из одного вида концентраций в другой. Расчёты равновесных состояний гетерогенных систем (криоскопия, эбуллиоскопия, связь растворимости и температуры)	9	–	КтСм
2	Расчёт разделения смесей веществ при кристаллизации из растворов (по произведению растворимости)	9	2	КтСм
3	Расчёт оптимальных параметров газотранспортной реакции	9	2	КтСм
3	Расчёты погрешности прямых и косвенных измерений при измерении дефектного строения кристаллов	9	1	КтСм

#### 4.4. Самостоятельная работа.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Сложные типы диаграмм равновесия жидкость –	20	КтСм

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	<p>пар и жидкость – жидкость – пар в бинарных и тройных системах. Процессы открытого испарения. Дистилляционные области в тройных системах.</p> <p>Различные типы диаграмм взаимной растворимости жидкостей в тройных системах. Схема процесса жидкостной экстракции. Кристаллизационные методы разделения. Диаграммы растворимости и плавкости в бинарных и тройных системах (сложные случаи). Кристаллизация из раствора, из расплава, из газовой фазы.</p> <p>Методы поверхностного разделения веществ. Адсорбция на границе твердая фаза – газ. Уравнение изотермы адсорбции Гиббса, уравнение Лэнгмюра. Метод пенного разделения, его варианты. Мицеллярное разделение.</p> <p>Методы мембранного разделения. Принцип методов. Типы мембран, механизмы проницаемости, баромембранные процессы. Обратный осмос. Ультрафильтрация. Микрофильтрация.</p> <p>Сравнительная характеристика химических и физико-химических методов очистки веществ.</p>		
2	<p>Кристаллическая структура кремния, физические и химические дефекты структуры и их влияние на свойства.</p> <p>Технологические зоны в руднотермической печи при плавке металлургического кремния.</p> <p>Плазмохимические методы получения кремниевых наноструктур. Плёнки оксида кремния на кремнии (получение и свойства).</p>	20	КтСм
3	<p>Кристаллизационные методы очистки веществ.</p> <p>Применение химического транспорта для получения монокристаллов.</p> <p>Физико-химические процессы, приводящие к нестабильности на фронте кристаллизации.</p>	17	КтСм

### 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 (7 семестр).

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

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

Пример варианта вопросов на экзамене:

### **Вариант № 1**

1. Градации чистоты веществ. Термодинамическое определение необходимой работы при очистке веществ.
2. Способы управления качеством растущего кристалла при выращивании из

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. Удалов, Ю.П. Применение программных комплексов вычислительной и геометрической термодинамики в проектировании технологических процессов неорганических веществ: учебное пособие / Ю. П. Удалов; СПбГТИ(ТУ). Каф. технологии электротерм. и плазмохим. пр-в. - СПб.: [б. и.], 2012. - 150 с.

2. Удалов, Ю.П. Технология монокристаллов и особо чистых веществ: практикум / Ю.П. Удалов, Б.А. Лавров, Н.В. Мураховская; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016. – 76 с.

3. Удалов, Ю.П. Технология монокристаллов и особо чистых веществ: учебное пособие / Ю.П. Удалов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 106 с.

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

1. Удалов, Ю.П. Диаграммы состояния многокомпонентных систем и их применение в технологических расчетах: учебное пособие / Ю.П. Удалов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016. – 124 с. – // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 01.04.2021). Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

2. Удалов, Ю.П. Применение программных комплексов вычислительной и геометрической термодинамики в проектировании технологических процессов неорганических веществ: учебное пособие / Ю.П. Удалов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра технологии электротермических и плазмохимических производств. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 150 с. – //

СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 01.04.2021). Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

3. Удалов, Ю.П. Технология монокристаллов и особо чистых веществ: практикум / Ю.П. Удалов, Б.А. Лавров, Н.В. Мураховская; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016. – 76 с. – // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 01.04.2021). Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

4. Удалов, Ю.П. Технология монокристаллов и особо чистых веществ: учебное пособие / Ю.П. Удалов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 106 с. – // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 01.04.2021). Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

5. Ежовский, Ю.К. Основы технологии монокристаллов и особо чистых веществ: учебное пособие / Ю.К. Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2017. – 91 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 «Технология малотоннажных продуктов» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

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

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

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

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, «ИВТАНтермо»).

### **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 Технологии неорганических веществ 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  
«Технология малотоннажных продуктов»**

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

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

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

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-1.1</b> Физико-химические основы технологии очистки веществ, технологических схем производства особо чистых веществ	<b>Знает</b> методики расчёта предельно достижимых концентраций примесей в зависимости от метода очистки	Вопросы к экзамену № 2, 10-19	Перечисляет основные методики расчёта предельно достижимых концентраций примесей в зависимости от метода очистки	Рассказывает основные методики расчёта предельно достижимых концентраций примесей в зависимости от метода очистки и приводит примеры	Правильно выбирает и использует методики расчёта предельно достижимых концентраций примесей в зависимости от метода очистки
	<b>Умеет</b> составлять и обосновывать технологическую схему производства конкретного особо чистого вещества	Вопросы к экзамену № 5-9, 32	Перечисляет технологические операции при производстве особо чистого вещества	С ошибками составляет технологическую схему производства конкретного особо чистого вещества	Способен самостоятельно составить и обосновать технологическую схему производства конкретного особо чистого вещества
	<b>Владеет</b> навыками контроля эффективности технологического процесса получения особо чистых веществ	Вопросы к экзамену № 26-29	С ошибками подбирает условия проведения процесса получения особо чистого вещества	Подбирает условия проведения процесса получения особо чистого вещества под руководством преподавателя	Способен самостоятельно контролировать технологический процесс получения особо чистого вещества
<b>ПК-1.2</b> Технологии производства монокристаллов различной степени чистоты	<b>Знает</b> нормативные требования к сырью и промежуточным продуктам	Вопросы к экзамену № 1, 3, 4, 31, 33-35	Перечисляет основные характеристики химико-технологического процессов	Приводит примеры взаимосвязи между основными характеристиками конкретного химико-технологического процесса	Правильно выбирает методику расчёта основных термодинамических характеристик химико-технологического процесса
	<b>Умеет</b> вносить коррективы в режимы работы оборудования в зависимости от отклонений в составе	Вопросы к экзамену № 20-25, 36-41	Перечисляет параметры химико-технологического процесса, влияющие на скорость и	Правильно выбирает рациональный диапазон изменения управляющих параметров конкретного процесса	Анализирует влияние управляющих параметров на температуру, производительность и энергетические показатели

	сырья, параметры подачи сырья и энергии		производительность процесса		процесса
	<b>Владеет</b> навыками контроля эффективности технологического процесса получения монокристаллов	Вопросы к экзамену № 30, 42-52	Перечисляет сырьевые продукты необходимые для проведения процесса, знает требования к сырью и перечисляет необходимые методы для его подготовки	Решает задачу поиска состава реакционной смеси в заданном диапазоне изменений концентраций, давления и температуры	Обосновывает рекомендуемый диапазон изменения параметров на основе анализа сырьевых материалов

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ).

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

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

#### **3.1 Типовые контрольные вопросы к экзамену**

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

1. Градации чистоты веществ. Термодинамическое определение необходимой работы при очистке веществ.
2. Методы определения примесного состава высокочистых веществ.
3. Требования к материалам в технологии особо чистых веществ.
4. Материалы, применяемые для изготовления контейнеров.
5. Методы очистки вещества.
6. Физические методы очистки (дистилляция, ректификация, экстракция, адсорбция).
7. Химические методы очистки. Оценка предельных возможностей очистки.
8. Очистка методом зонной плавки.
9. Кристаллизационный метод очистки с помощью однократной направленной кристаллизации.
10. Термодинамические представления о системе. Равновесие в однокомпонентной системе (уравнение Клайперона – Клаузиуса, правило фаз, виды диаграмм состояния).
11. Термодинамические модели растворов.
12. Однокомпонентные системы (фазовые переходы первого рода, энантиотропные и монокротропные превращения). Классификация свойств вещества частицы.
13. Способы изображения диаграмм растворимости двойных, тройных и четверных систем.
14. Диаграммы состояния бинарной системы с неограниченной и ограниченной растворимостью в твёрдой и жидкой фазах.
15. Диаграммы состояния бинарной системы с неограниченной растворимостью в жидкой и отсутствием растворимости в твёрдой фазах.
16. Диаграммы состояния тройной системы с неограниченной растворимостью в жидкой и отсутствием растворимости в твёрдой фазах.
17. Диаграммы состояния двухкомпонентных систем типа «жидкость-пар». Законы Коновалова.
18. Диаграммы растворимости бинарных солевых систем.
19. Диаграмма растворимости взаимных солей (диаграмма Йенеке). Уравнение материального баланса в солевых единицах.
20. Изотермы растворимости в системах с кристаллогидратами и двойными солями.
21. Давление пара над насыщенными растворами и кристаллогидратами.
22. Темп (интенсивность) кристаллизации.
23. Расчётные методы определения термодинамических свойств неорганических веществ.
24. Расчёты свойств растворов солей (плотность, парциальные давления паров, растворимость газа, криоскопия, эбуллиоскопия).
25. Диаграммы равновесия двухкомпонентных водно-солевых систем. Количественные расчёты с помощью таких диаграмм.
26. Составление материального баланса двухкомпонентной водной системы в мольных единицах.
27. Составление материального баланса двухкомпонентной водной системы в единицах массы.
28. Составление материального баланса четырёхкомпонентной водной солевой системы с помощью понятия «солевая единица».
29. Алгоритм расчёта диаграмм плавкости бинарных и тройных систем.
30. Диаграмма состояния кремнезёма при низком давлении.
31. Технология металлургического кремния.

32. Принципы технологии кремния особой чистоты.
33. Технология очистки металлургического кремния с использованием трихлорсилана.
34. «Моносилановая» технология очистки кремния.
35. Технологические операции при получении монокристаллов.
36. Методы выращивания монокристаллов тигельными методами и применяемые способы нагрева.
37. Физико-химические основы выращивания монокристаллов тигельными методами.
38. Температурное поле в технологической зоне при тигельных методах выращивания монокристаллов.
39. Требования к форме фронта кристаллизации и скорости вытягивания при выращивании монокристаллов.
40. Источники нестабильности на фронте кристаллизации.
41. Распределение примесей при кристаллизации расплава. Равновесный и эффективный коэффициент распределения.
42. Способы управления качеством растущего кристалла при выращивании из тиглей.
43. Аппаратные схемы выращивания кристаллов тигельными методами.
44. Получение монокристаллов из раствора-расплава.
45. Метод выращивания монокристаллов Чохральского.
46. Основные кристаллографические законы.
47. Направления современной кристаллографии
48. Кристаллическое вещество и характеристики, отличающие его от аморфных тел
49. Симметрия, операция симметрии, элемент симметрии
50. Кристаллографические координатные системы
51. Понятие «пространственная решетка», «элементарная ячейка»
52. Факторы, влияющие на зарождение кристаллов

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше. Время подготовки студента к устному ответу на вопросы – до 45 мин.

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

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