

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

УТВЕРЖДАЮ

  
Проректор по УР  
А.В. Бурмистров  
« 14 » 11 2017 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине Б1.В.ДВ.11.1 «Твердофазные реакции»  
Направление подготовки 18.03.01 – «Химическая технология»  
Профили подготовки «Технология тугоплавких неметаллических и  
силикатных материалов», «Технология неорганических веществ»  
Квалификация (степень) выпускника БАКАЛАВР  
Форма обучения ОЧНАЯ  
Институт, факультет Нефти, химии и нанотехнологий, химических технологий  
Кафедра-разработчик рабочей программы Технология неорганических веществ  
и материалов  
Курс 4, семестр 8

Лекции	Часы	Зачетные единицы
Лекции	18	
Практические занятия	36	
Лабораторные занятия		
Самостоятельная работа	54	
Форма аттестации		
<b>Зачет</b>		
Всего	108	3

Казань, 2017 г.



### **1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Твердофазные реакции» являются:

- а) получение бакалаврами теоретических знаний по термодинамике, кинетике твердофазных реакций;
- б) получение навыков термодинамических и кинетических расчетов по термограммам, умению их использования при выборе оптимальных технологических режимов в технологии неорганических веществ.

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

Дисциплина «Твердофазные реакции» относится к вариативной; дисциплины по выбору ОП и формирует у бакалавров по направлению подготовки «Химическая технология» набор знаний, умений, навыков и компетенций, необходимых для выполнения производственно-технологической и научно-исследовательской деятельности.

Для успешного освоения дисциплины «Твердофазные реакции» бакалавр по направлению подготовки «Химическая технология» должен освоить материал предшествующих дисциплин:

- а) Б1.Б.10 Общая и неорганическая химия.
- б) Б1.В.ОД.12 Теоретические основы технологии неорганических веществ.
- в) Б1.В.ОД.13 Химическая технология неорганических веществ, ч.1
- г) Б1.В.ОД.14 Химическая технология неорганических веществ, ч.2
- д) Б1.В.ДВ.6.1 Кристаллохимия
- е) Б1.В.ДВ.6.2 Минералогия и кристаллография

Дисциплина «Твердофазные реакции» является предшествующей и необходима для успешного усвоения последующих дисциплин:

- а) Б1.В.ОД.15 Оборудование и основы проектирования по технологии неорганических веществ.

Знания, полученные при изучении дисциплины «Твердофазные реакции» могут быть использованы при прохождении преддипломной практики и выполнении выпускной квалификационной работы по направлению подготовки «Химическая технология».

### **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

1. ПК–4 способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения;

2. ПК–16 способностью планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

3. ПК–18 готовностью использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности;

4. ПК–20 готовностью изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования.

***В результате освоения дисциплины обучающийся должен:***

1) Знать:

а) методики расчетов кинетических и термодинамических параметров в технологии неорганических веществ;

б) методики интерпретации результатов исследований твердофазных реакций.

2) Уметь:

а) применять теоретические знания по твердофазным реакциям при производстве неорганических материалов на практике;

б) обеспечивать расчеты для обоснования производственного процесса.

3) Владеть:

а) методиками расчета основных кинетических и термодинамических характеристик в производстве неорганических веществ;

б) знаниями о типах твердофазных реакций;

в) знаниями по анализу кинетических уравнений, используемых при анализе полученных экспериментальных данных.

***Структура и содержание дисциплины «Твердофазные реакции»***

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы (в часах)			Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации по разделам
			Лекции	Семинар (Практические занятия)	СРС	
1	Твердофазные реакции. Классификация	8	2	4	6	Реферат
2	Термодинамика твердофазных реакций	8	2	4	6	Контрольная работа
3	Поведение твердых тел при нагревании.	8	2	4	6	Реферат
4	Кинетика гетерогенных реакций	8	2	4	6	Контрольная работа
5	Физические модели гетерогенных реакций.	8	2	4	6	Реферат
6	Новые методы	8	2	4	6	Реферат

	реализации твердофазных реакций					
7	Спекание, его виды	8	2	4	6	Реферат
8	Рекристаллизация	8	2	4	6	Реферат
9	Изучение твердофазных гетерогенных реакций	8	2	4	6	Контрольная работа
Форма аттестации						Зачет

**5. Содержание лекционных занятий по темам с указанием формируемых компетенций и используемых инновационных образовательных технологий.**

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема лекционного занятия	Краткое содержание	Формируемые компетенции
1	Твердофазные реакции. Гетерогенные и гетерофазные реакции. Топохимические реакции. Классификации твердофазных реакций и примеры их промышленной реализации.	2	Твердофазные реакции Топохимические реакции.	Гетерогенные и гетерофазные реакции. Топохимические реакции. Классификации твердофазных реакций	ПК-4 ПК-16 ПК-18 ПК-20
2	Термодинамика твердофазных реакций. Расчет термодинамических параметров реакции. Анализ результатов расчетов.	2	Термодинамика твердофазных реакций.	Термодинамика твердофазных реакций. Расчет термодинамических параметров реакции.	ПК-4 ПК-16 ПК-18 ПК-20
3	Поведение твердых тел при нагревании. Элементарные процессы, протекающие при проведении твердофазных реакций: спекание, полиморфное превращение, плавление, рекристаллизация и др.	2	Поведение твердых тел при нагревании Реальные кристаллы, дефекты кристаллов.	Поведение твердых тел при нагревании Реальные кристаллы, дефекты кристаллов. Диффузия в твердых телах, самодиффузия и гетеродиффузия. Механизм диффузии в твердых телах	ПК-4 ПК-16 ПК-18 ПК-20
4	Кинетика гетерогенных реакций. Периоды гетерогенных реакций и	2	Кинетика гетерогенных реакций.	Кинетика гетерогенных реакций. Кинетические кривые, индукцион-	ПК-4 ПК-16 ПК-18 ПК-20

	проявление их на кинетических кривых.			ный период	
5	Лимитирующие стадии гетерогенных реакций. Физические модели и кинетические уравнения гетерогенных реакций. Влияние различных факторов на кинетику гетерогенных реакций.	2	Влияние различных факторов на кинетику гетерогенных реакций	Влияние различных факторов на кинетику гетерогенных реакций. Температура, давление, природа реагентов.	ПК-4 ПК-16 ПК-18 ПК-20
6	Новые методы реализации твердофазных реакций	2	Новые методы реализации твердофазных реакций.	Новые методы реализации твердофазных реакций. Расплавотермический синтез. Высоко-частотный и сверхчастотный синтез. Радиационно-термический синтез. Самораспространяющийся высоко-температурный синтез тугоплавких соединений.	ПК-4 ПК-16 ПК-18 ПК-20
7	Спекание. Твердофазное спекание. Термодинамика и механизмы твердофазного спекания.	2	Термодинамика и механизмы твердофазного спекания. Коалесценция. Спекание	Термодинамика и механизмы твердофазного спекания. Коалесценция. Спекание путем испарения– конденсации, пластической деформации под давлением. Реакционное спекание.	ПК-4 ПК-16 ПК-18 ПК-20
8	Рекристаллизация. Первичная и вторичная рекристаллизация. Механизм и кинетика процесса.	2	Рекристаллизация	Рекристаллизация. Первичная и вторичная рекристаллизация. Механизм и кинетика процесса	ПК-4 ПК-16 ПК-18 ПК-20
9	Изучение твердофазных гетерогенных реакций. Изотермические и	2	Использование метода ДТА для изучения кинетики реакций.	Использование метода ДТА для изучения кинетики реакций. Анализ и	ПК-4 ПК-16 ПК-18 ПК-20

неизотермические методы исследований Анализ кинетических данных. Кинетические уравнения, используемые при анализе экспериментальных данных.			интерпретация кинетических данных. Физико-химические исследования	
---	--	--	---	--

### ***6. Содержание практических/семинарских занятий***

<b>№ п/п</b>	<b>Раздел дисциплины</b>	<b>Часы</b>	<b>Тема практического занятия/семинара</b>	<b>Формируемые компетенции</b>
1	Термодинамика твердофазных реакций	10	1. Расчет термодинамических характеристик твердофазных превращений при стандартных условиях (4 часа). 2. Расчет термодинамических характеристик твердофазных превращений при условиях, отличных от стандартных (6 часов).	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20
2	Кинетика гетерогенных реакций	8	1. Кинетические закономерности твердофазных реакций (4 часов). 2. Физические модели и кинетические уравнения гетерогенных реакций (6 часов).	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20
3	Спекание, его виды	8	Виды твердофазного спекания и свойства получаемых продуктов 1. Твердофазное и жидкостное спекание. Кинетика процессов (2 часа). 2. Спекание методом пластической деформации (2 часа). 3. Реакционное спекание. Спекание методом испарение-конденсация (2 часа)	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20
4	Изучение твердофазных гетерогенных реакций	10	1. Термические методы при изучении твердофазных реакций (2 часа). 2. Расчет термодинамических характеристик твердофазных превращений (4 часа). 3. Расчет энергии активации твердофазных реакций (4 часа).	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20

### ***7. Содержание лабораторных занятий (не предусмотрено учебным планом)***

### 8. Самостоятельная работа

№ п/п	Темы, выносимые на самостоятельную работу	Часы	Форма СРС	Формируемые компетенции
1	Твердофазные реакции в технологии неорганических веществ. Гетерогенные и гетерофазные реакции. Топохимические реакции. Классификации твердофазных реакций	6	Реферат	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20
2	Термодинамика твердофазных реакций. Расчет термодинамических параметров реакции.	6	Подготовка к контрольной работе	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20
3	Поведение твердых тел при нагревании Реальные кристаллы, дефекты кристаллов. Диффузия в твердых телах, самодиффузия и гетеродиффузия. Механизм диффузии в твердых телах.	6	Реферат	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20
4	Кинетика гетерогенных реакций. Кинетические кривые, индукционный период	6	Подготовка к контрольной работе	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20
5	Влияние различных факторов на кинетику гетерогенных реакций	6	Реферат	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20
6	Новые методы реализации твердофазных реакций. Расплавотермический синтез. Высокочастотный и сверхчастотный синтез. Радиационно-термический синтез. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких соединений.	6	Реферат	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20
7	Термодинамика и механизмы твердофазного спекания. Коалесценция. Спекание путем испарения– конденсации, пластической деформации под давлением. Реакционное спекание.	6	Реферат	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20
8	Рекристаллизация. Первичная и вторичная рекристаллизация. Механизм и кинетика процесса	6	Реферат	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20
9	Использование метода ДТА для изучения кинетики реакций. Анализ и интерпретация кинетических данных. Физико-химические исследования	6	Подготовка к контрольной работе	ПК–4 ПК–16 ПК–18 ПК–20

### 9. Использование рейтинговой системы оценки знаний.

Форма аттестации по дисциплине – Зачет с оценкой.



Максимальный рейтинг студента по дисциплине  $R_{\text{дис}}$  равен 100 баллам и определяется в общем случае по формуле (2)

$$R_{\text{дис}} = R_{\text{тек}} + R_{\text{экз}},$$

где  $R_{\text{тек}}$  – балл за текущую работу студента в течение семестра (1);  $R_{\text{экз}}$  – балл, полученный студентом при сдаче экзамена.

Текущий контроль проводится в конце семестра и отражает степень усвоения дисциплины за семестр. Данный контроль является следующим уровнем контрольных мероприятий. Конкретные сроки проведения текущего контроля успеваемости студентов, согласуются с семестровыми учебными планами групп, утвержденными ректором, и доводятся в начале семестра до преподавателей и студентов.

Объем и уровень усвоения студентами учебного материала дисциплины оцениваются комплексной рейтинговой оценкой, выраженной в процентах  $R_{\text{тек}}$  (текущим рейтингом)(1), включающей в себя:

$$R_{\text{T}} = R_{\text{пром}} + \text{П} + \text{К},$$

**-результаты промежуточного контроля ( $R_{\text{пром}}$ )** - оценка теоретических знаний, практических умений и навыков, проявленных студентами на всех формах занятий в период освоения модуля рабочей программы дисциплины. Рейтинг  $R_{\text{пром}}$  определяется как сумма баллов (с учетом понижающих коэффициентов) полученных за все этапы промежуточного контроля.

**-оценку посещаемости занятий (П)**

**-выполнение нетиповых заданий повышенной сложности (Н):** участие в олимпиадах, научно-исследовательской работе кафедры, написание рефератов и выполнение других работ, углубляющих знания по данной дисциплине. За выполнение таких заданий (которые не являются обязательными, и выполняются только по желанию) могут начисляться дополнительные (премиальные) аттестационные баллы. Премиальные баллы не должны превышать 40 баллов. Выдача заданий студентам осуществляется в начале изучения дисциплины. Зачет работ производится на последней неделе после всех запланированных аттестационных работ.

**- результаты контрольного испытания (К).**

При изучении дисциплины предусматривается **Зачет**, три контрольные работы, реферат. За эти контрольные точки студент может получить минимальное и максимальное количество баллов (см. таблицу).

Максимальный рейтинг бакалавра по дисциплине  $R_{\text{дис}}$  равен 100 баллам.

<i>Оценочные средства</i>	<i>Кол-во</i>	<i>Min, баллов</i>	<i>Max, баллов</i>
<i>Контрольная работа</i>	<i>3</i>	<i>8</i>	<i>16-20</i>
<i>Реферат</i>	<i>1</i>	<i>6</i>	<i>10</i>
<i>Итоговый контроль</i>		<i>24</i>	<i>60</i>
<i>Итого:</i>		<i>60</i>	<i>100</i>

**Итоговая контрольная точка – Зачёт.**

В этом случае рейтинг по дисциплине  $R_{\text{дис}}$  совпадает с  $R_{\text{тек}}$ . Предмет считается усвоенным и проставляется отметка о зачете, если студентом выполнены все текущие контрольные точки и сумма баллов, набранных за текущую работу в семестре, не менее 40.

Таблица – перерасчет рейтинга в 4-балльную шкалу оценки

Интервал баллов рейтинга	Оценка
$0 \leq R_{\text{дис}} < 60$	«неудовлетворительно» (2)
$60 \leq R_{\text{дис}} < 73$	«удовлетворительно» (3)
$73 \leq R_{\text{дис}} < 87$	«хорошо» (4)
$87 \leq R_{\text{дис}} < 100$	«отлично» (5)

## 11. Информационно-методическое обеспечение дисциплины

### 11.1 Основная литература

При изучении дисциплины «Твердофазные реакции» в качестве основных источников информации рекомендуется использовать следующую литературу.

Основные источники информации	Кол-во экз.
1. Кригер, В.Г. Избранные главы химии твердого тела: учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Г. Кригер, А.В. Каленский, М.В. Ананьева. — Электрон. дан. — Кемерово: КемГУ, 2014. —139 с. —	ЭБС Лань Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/58328">https://e.lanbook.com/book/58328</a> Доступен из любой точки интернета после регистрации с IP адреса КНИТУ
2. Косенко, Н.Ф. Регулирование реакционной способности твердых фаз [Электронный ресурс]: монография — Электрон. дан. — Иваново: ИГХТУ, 2013. — 224 с.	ЭБС Лань Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/reader/book/63666">https://e.lanbook.com/reader/book/63666</a> Доступен из любой точки интернета после регистрации с IP адреса КНИТУ
3. Буданов, В.В. Химическая кинетика [Электронный ресурс]: учеб. пособие —Электрон. дан. — Иваново: ИГХТУ, 2011. —177 с.	ЭБС Лань Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/reader/book/4527">https://e.lanbook.com/reader/book/4527</a> Доступен из любой точки интернета после регистрации с IP адреса КНИТУ

### 11.2 Дополнительная литература

В качестве дополнительных источников информации рекомендуется использовать следующую литературу:

Дополнительные источники информации	Кол-во экз.
1. Введение в нанотехнологию [Электронный ресурс]: учеб. / В.И. Марголин [и др.]. —Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2012. —464 с.	ЭБС Лань Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/reader/book/4310">https://e.lanbook.com/reader/book/4310</a> Доступен из любой точки интернета после регистрации с IP адреса КНИТУ
2. Ильин, А.П. Химия твердого тела [Электронный ресурс]: учеб. пособие /А.П. Ильин, Н.Е. Гордина. — Электрон. дан. —Иваново: ИГХТУ, 2006. —216 с.	ЭБС Лань Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/4486">https://e.lanbook.com/book/4486</a> Доступен из любой точки интернета после регистрации с IP адреса КНИТУ

[Электронный ресурс]: монография —Электрон. дан. —Иваново: ИГХТУ, 2008. —156 с.	4474 Доступен из любой точки интернета после регистрации с IP адреса КНИТУ
4. Андреев, Ю.Я. Физика и химия твердого тела. Точечные дефекты в ионных кристаллах. Методические указания [Электронный ресурс]: метод. указ. //Ю.Я. Андреев, А.В. Новиков, Е.А. Новикова. — Электрон. дан. — Москва: МИСИС, 2003. —82 с.	ЭБС Лань Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/1860">https://e.lanbook.com/book/1860</a> Доступен из любой точки интернета после регистрации с IP адреса КНИТУ

### 11.3 Электронные источники информации

При изучении дисциплины «Твердофазные реакции» рекомендуется использование электронных источников информации:

1. Журнал успехи в химии и химической технологии [Электронный ресурс]: [http:// http://acst.muctr.ru](http://acst.muctr.ru)
2. Журнал "Неорганические материалы" [Электронный ресурс]: <http://www.maik.ru/ru/journal/neorgmat>.
3. Химия и химическая технология в жизни [Электронный ресурс]: <http://www.chemfive.ru/>
4. Успехи современного естествознания [Электронный ресурс]: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=9002>
5. Интернет-журнал о нанотехнологиях. [Электронный ресурс]: <http://www.nanodigest.ru>.
6. Российский электронный НАНОЖУРНАЛ. [Электронный ресурс]: <http://www.nanorf.ru>.
7. Нанотехнологии. Научно-информационный портал по нанотехнологиям [Электронный ресурс]: <http://www.nano-info.ru>.
8. Научная Электронная библиотека (РУНЭБ) – Режим доступа: <http://elibrary.ru>
9. ЭБС «Библиокоплектатор» – Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/>
10. ЭБС «Лань» – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/books/>
11. ЭБС «Консультант студент» – Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/>
12. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» - Режим доступа <https://biblioclub.ru/>
13. Электронная библиотека УНИЦ КНИТУ – Режим доступа: <http://ft.kstu.ru>
14. Электронный каталог УНИЦ КНИТУ – Режим доступа: <http://ruslan.kstu.ru>
15. ЭБС ZNANIUM.COM. – Режим доступа: <http://znanium.com>

Согласовано:  
Зав. сектором ОКУФ



### ***10. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины***

Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации обучающихся представлены в отдельном документе " Фонд оценочных средств", рассматриваемом как составная часть рабочей программы.

### ***12. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).***

1. Лекционные занятия:
  - a. комплект электронных презентаций/слайдов;
  - b. аудитория, оснащенная презентационной техникой - проектор, экран, компьютер/ноутбук;
2. Практические занятия:
  - a. презентационная техника (проектор, экран, компьютер/ноутбук);
3. Прочее:
  - a. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
  - b. рабочие места магистрантов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### ***13. Образовательные технологии***

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах 18 часов (9 лекций – беседа, 9 практические занятия – учебная дискуссия).

Основные интерактивные формы проведения учебных занятий:

- творческие задания;
- работа в малых группах.

### Лист переутверждения рабочей программы

Рабочая программа по дисциплине «Твердофазные реакции»  
пересмотрена на заседании кафедры Технологии неорганических веществ и материалов

п/п	Дата переутверждения РП (протокол заседания кафедры № _____ от _____ 20__ )	Наличие изменений	Наличие изменений в списке литературы	Подпись разработчика РП	Подпись заведующего кафедрой	Подпись начальника УМЦ
	Протокол заседания кафедры № 1 от 04.09. 2018	Нет	Нет			