

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»**  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

  
УТВЕРЖДАЮ  
Директор института  
Павленко В.И.  
« 16.09.2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины (модуля)

**Физическая химия силикатов**

направление подготовки (специальность):

18.03.01 Химическая технология

Направленность программы (профиль, специализация):

Химическая технология вяжущих и композиционных материалов

Квалификация

бакалавр

Форма обучения


Очная

Институт: химико-технологический

Кафедра: технологии стекла и керамики

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология (уровень бакалавриата), утвержденного приказом исполняющего обязанности министра образования Российской Федерации 11.08.2016г., № 1005
- плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, введенного в действие в 2016 году.

Составитель (составители): к.т.н., доцент  (Бушуева Н.П.)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой  
Технологии цемента и композиционных материалов  
(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой: д.т.н., профессор  (Борисов И.Н.)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

« 11 » 10 2016 г.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 6 » 10 2016 г., протокол № 2

/ Заведующий кафедрой: д.т.н., профессор  (Евтушенко Е.И.)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 15 » 10 2016 г., протокол № 2

Председатель к.т.н., доцент  (Порожнюк Л.А.)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Формируемые компетенции			Требования к результатам обучения
№	Код компетенции	Компетенция	
Общепрофессиональные			
1	ОПК-1	Способностью и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b></p> <p>– основные законы естественнонаучных дисциплин; методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.</p> <p><b>Уметь:</b></p> <p>– использовать основные законы естественнонаучных дисциплин; методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования с целью энерго- и ресурсосбережения; работать с учебной и научной литературой.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <p>- основными законами естественнонаучных дисциплин; методами математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования</p>
Профессиональные			
1.	ПК-1	Способностью и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b></p> <p>– технологический процесс в соответствии с регламентом, технические средства для измерения основных параметров технологического процесса и свойств сырья и продукции.</p> <p><b>Уметь:</b></p> <p>– осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <p>- навыками организовывать технологический процесс в соответствии с регламентом, и применять технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Содержание дисциплины основывается и является логическим продолжением следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1.	Математика
2.	Общая и неорганическая химия
3.	Процессы и аппараты химической технологии
4.	Введение в профессию
5.	Сырьевые материалы в производстве вяжущих материалов
6.	Системы управления химико-технологическими процессами

Содержание дисциплины служит основой для изучения следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1.	Теория и практика сжигания топлива
2.	Тепловые процессы и установки в технологии вяжущих материалов
3.	Химическая технология вяжущих материалов
4.	Химическая технология композиционных материалов на основе извести
5.	Системы управления химико-технологическими процессами
6.	Автоматизация химико-технологических процессов
7.	Технология производства цемента
8.	Технология вяжущих и композиционных материалов
9.	Управление технологическим процессом производства цемента с применением компьютерных технологий
10.	Применение ЭВМ в технологии цементного производства

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зач. единиц, 216 часов.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 5
Общая трудоемкость дисциплины, час	216	216
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	68	68
лекции	34	34
лабораторные	34	34
практические		
<b>Самостоятельная работа студентов, в том числе:</b>	148	148
Курсовой проект	-	-
Курсовая работа	36	36
Расчетно-графическое задания	-	-
Индивидуальное домашнее задание	-	-
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	76	76
Форма промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	Зачет, экзамен	36

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Наименование тем, их содержание и объем

#### Курс 3 Семестр 5

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1. Предмет и содержание курса физической химии силикатов. Значение ФХС для силикатных технологий.					
	Знакомство с содержанием курса, его основных разделов и значение ФХС для силикатных технологий.	1			
2. Силикаты в кристаллическом состоянии					
	<p>Кристаллохимические принципы строения веществ в конденсированном состоянии; особенности кристаллического состояния силикатных материалов, природа химической связи в них. Связь Si-O, Si-O-Si, строение тетраэдрической группы [SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup>.</p> <p>Классификация силикатов по способу сочленения кремнекислородных тетраэдров.</p> <p>Полиморфизм, разновидности. Фазовые переходы первого и второго рода. Факторы, влияющие на процесс полиморфного превращения.</p> <p>Дефекты кристаллической решетки. Классификация.</p> <p>Твердые растворы, дефекты нестехиометрии. Одномерные дефекты.</p> <p>Тепловые дефекты по Френкелю и Шоттки.</p> <p>Влияние дефектов на свойства кристаллов.</p>	8		8	12
3. Силикаты в жидком состоянии					
	Процессы плавления. Строение жидкостей и силикатных расплавов. Свойства расплавов (вязкость, поверхностное натяжение, смачивающая способность.	2		4	6
4. Силикаты в стеклообразном состоянии					
	Процессы стеклования. Физико-химические особенности стеклообразного состояния. Теории строения стекол. Условия образования. Свойства стекол.	2		4	6
5. Высокодисперсное состояние силикатов					
	Электрокинетические явления высокодисперсных силикатных систем. Двойной электрический слой, электрокинетический потенциал. Мицелла. Строение коллоидных форм кремнезема, гелей кремниевых кислот. Коагуляция, пептизация. Коагуляционные, кон-	2		4	6

	денсационные и кристаллизационные структуры. Поверхностно-активные вещества.				
<b>6. Высокотемпературные процессы синтеза силикатных материалов</b>					
	<p>Твердофазовые реакции. Механизм и особенности реакций в твердом состоянии. Описание кинетики твердофазовых реакций с помощью различных моделей. Факторы, влияющие на скорость твердофазовых реакций.</p> <p>Спекание. Виды спекания, сущность процесса. Механизм; кинетика процесса; факторы, влияющие на процесс спекания.</p> <p>Кристаллизация расплавов. Гомогенное и гетерогенное образование центров кристаллизации. Рост кристаллов.</p> <p>Процесс рекристаллизации. Первичная и вторичная рекристаллизация.</p>	8		10	28
<b>7. Фазовые равновесия и диаграммы состояния гетерогенных систем</b>					
	<p>Однокомпонентные системы и их диаграммы состояния. Система <math>\text{SiO}_2</math>, <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math>, <math>\text{CaO}</math>, <math>\text{MgO}</math>.</p> <p>Двухкомпонентные системы, их диаграммы состояния, правила работы с ними. Характеристика соединений, твердых растворов, присутствующих в системах <math>\text{CaO} - \text{SiO}_2</math>; <math>\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2</math>, <math>\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2</math>, <math>\text{MgO} - \text{SiO}_2</math>.</p> <p>Трехкомпонентные силикатные системы, их диаграммы состояния, правила работы с ними. Характеристика соединений, твердых растворов, присутствующих в системах <math>\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2</math>, <math>\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2</math>, <math>\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2</math>, <math>\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2</math>.</p>	10		4	18
	ВСЕГО	34		34	76

## 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

Учебным планом не предусмотрены

## 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр № 5				
1.	Силикаты в кристаллическом состоянии	1. Определение скорости перерождения и степени тридимитизации кварцитов в процессе обжига.	8	12
2.	Силикаты в стеклообразном состоянии	1. Определение вязкости стекла по методу растяжения стеклянного образца. 2. Определение коэффициентов линейного и объемного термического расши-	4	6

		рения стекла.		
4.	Силикаты в жидком состоянии	Определение склонности силикатных расплавов к стеклованию (кристаллизации).	4	6
3.	Высокодисперсное состояние силикатов	1. Влияние электролитов и поверхностно-активных веществ (ПАВ) на структурно-механические свойства суспензий.	4	6
4.	Высокотемпературные процессы синтеза силикатных материалов	1. Кинетика гетерогенных процессов, протекающих при синтезе силикатных материалов. 2. Кинетика спекания смесей на основе стекла.	10	28
5.	Фазовые равновесия и диаграммы состояния гетерогенных систем	1. Изучение системы с ограниченной взаимной растворимостью компонентов в жидкой фазе.	4	18
ВСЕГО:			34	76

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Силикаты в кристаллическом состоянии	1. Связь Si-O, Si-O-Si. 2. Структурная характеристика тетраэдрической группы $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , характерные особенности ее свойств. 3. Классификация силикатов по способу сочленения кремнекислородных тетраэдров. 4. Нульмерные и одномерные дефекты в решетках кристаллов, их влияние на свойства веществ. 5. Твердые растворы замещения. Совершенный и несовершенный изоморфизм. Условия образования. 6. Твердые растворы внедрения. Условия образования. 7. Дефекты нестехиометрии. Влияние их на свойства кристаллических тел. 8. Тепловые дефекты по Шоттки и Френкелю. 9. Краевая и винтовая дислокация в кристаллической решетке.

		<p>ке вещества.</p> <p>10. Полиморфизм, разновидности.</p> <p>11. Факторы, влияющие на процесс полиморфного превращения.</p>
2	Силикаты в жидком состоянии	<p>1. Процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое.</p> <p>2. Строение жидкостей и силикатных расплавов.</p> <p>3. Свойства расплавов: вязкость, поверхностное натяжение, смачивающая способность.</p>
3	Силикаты в стеклообразном состоянии	<p>1. Физико-химические особенности стеклообразного состояния.</p> <p>2. Условия стеклообразования.</p> <p>3. Теории строения стекла.</p> <p>4. Свойства стекол: вязкость, кристаллизационная способность.</p>
4	Высокодисперсное состояние силикатов	<p>1. Электрокинетические явления в высокодисперсных силикатных системах.</p> <p>2. Двойной электрический слой, электрокинетический потенциал.</p> <p>3. Мицеллообразование.</p> <p>4. Коагуляция коллоидных силикатных систем.</p> <p>5. Коагуляционные, конденсационные и кристаллизационные структуры.</p>
5	Высокотемпературные процессы синтеза силикатных материалов	<p>1. Кристаллизация расплавов и стекол. Кривые Таммана.</p> <p>2. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование.</p> <p>3. Процесс роста кристаллов.</p> <p>4. Твердофазовые реакции.</p> <p>5. Диффузионные процессы при твердофазовом взаимодействии веществ.</p> <p>6. Механизм и особенности реакций в твердом состоянии.</p> <p>7. Кинетика твердофазовых реакций. Факторы, влияющие на скорость твердофазовых реакций.</p> <p>8. Спекание, сущность процесса, разновидности.</p> <p>9. Твердофазовое спекание, механизм, кинетика, пути ускорения процесса.</p> <p>10. Жидкостное спекание, механизм, кинетика, пути ускорения процесса.</p> <p>11. Спекание испарение – конденсация.</p> <p>12. Процесс рекристаллизации. Виды, механизм, кинетика процесса.</p>
6	Фазовые равновесия и диаграммы состояния гетерогенных систем	<p>1. Учение о фазовых равновесиях гетерогенных систем. Правило фаз Гиббса.</p> <p>2. Однокомпонентные системы с монотропными и энантиотропными превращениями и диаграммы их состояния.</p> <p>3. Система <math>\text{SiO}_2</math> и ее практическое значение.</p> <p>4. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с эвтектикой. Применение правила рычага в двухкомпонентных системах.</p> <p>5. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с химическим соединением, плавящимся конгруэнтно.</p> <p>6. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с хи-</p>



		<p>мическим соединением, плавящимся инконгруэнтно.</p> <p>7. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с химическим соединением, разлагающимся или образующимся в твердом состоянии.</p> <p>8. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с ликвидацией, полиморфными превращениями, твердыми растворами.</p> <p>9. Система <math>\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2</math> и ее значение.</p> <p>10. Система <math>\text{CaO} - \text{SiO}_2</math> и ее значение.</p> <p>11. Система <math>\text{MgO} - \text{SiO}_2</math> и ее значение.</p> <p>12. Система <math>\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2</math> и ее значение.</p> <p>13. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с эвтектикой. Применение правила рычага в трехкомпонентных системах для количественного определения соотношения равновесных фаз.</p> <p>14. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с бинарным химическим соединением, плавящимся конгруэнтно.</p> <p>15. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с бинарным химическим соединением, плавящимся инконгруэнтно.</p> <p>16. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с бинарным химическим соединением, разлагающимся в твердом состоянии.</p> <p>17. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с полиморфными превращениями, ликвидацией.</p> <p>18. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с тройным химическим соединением, плавящимся конгруэнтно.</p> <p>19. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы с тройным химическим соединением, плавящимся инконгруэнтно.</p> <p>20. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы <math>\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2</math> и ее значение для силикатных технологий.</p> <p>21. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы <math>\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2</math> и ее значение для силикатных технологий.</p> <p>22. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы <math>\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2</math> и ее значение для силикатных технологий.</p> <p>23. Диаграмма состояния трехкомпонентной системы <math>\text{MgO} - \text{CaO} - \text{SiO}_2</math> и ее значение для силикатных технологий.</p> <p>24. Диаграммы состояния четырехкомпонентных систем и правила работы с ними.</p>
--	--	---

## **5.2. Перечень тем курсовых проектов, курсовых работ, их краткое содержание и объем**

Курсовая работа выполняется на тему «Расчет фазовых равновесий в гетерогенной силикатной системе» (используется конкретная реальная система  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  или  $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$  или  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , детальное изучение которых предусмотрено при изложении курса). Пояснительная записка содержит разделы: введение, краткое описание системы, определение расположения точки исход-

ного состава расплава (смеси), описание последовательности изменений фазовых равновесий при охлаждении расплава исходного состава (нагревании смеси), количественные расчеты по диаграмме состояния, термодинамический расчет.

Для выполнения курсовой работы изданы:

1. «Расчет фазовых равновесий в гетерогенной системе» / Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» для студентов специальности 240304 – «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» / Н.П.Бушуева, М.С.Шиманская. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2010. – 30 с.

2. Бушуева Н.П. Фазовые равновесия в гетерогенных системах: Практикум / Н.П.Бушуева. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2013. – 80 с.

Каждому студенту выдается индивидуальное задание для выполнения курсовой работы.

### Пример задания

**Расплав при температуре 1400°C в количестве 20% находится в равновесии с  $\alpha$ -тридимитом ( $\text{SiO}_2$ ) и кордиеритом ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ), соотношение которых 1:5. Определить по диаграмме состояния трехкомпонентной системы  $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  состав исходного расплава.**

Выполнить работу по диаграмме состояния:

1. Описать трехкомпонентную систему;
2. Определить последовательность фазовых превращений в изучаемой системе  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ;
3. Дать схему изменений фазовых равновесий.

Количественные расчеты:

1. Определить температуру, при которой количество расплава будет равно 90%. Указать его состав и состав равновесной твердой фазы.
2. Определить составы и соотношение равновесных фаз при температуре, когда по пути кристаллизации появляется третья фаза нового состава.
3. Определить температуру, при которой количество расплава будет относиться к количеству кристаллов как 1:2 (33,3:66,7).
4. Определить составы и соотношение равновесных фаз в момент достижения конечной температуры кристаллизации, но до начала процесса.
5. Определить состав продукта полной кристаллизации (когда количество расплава равно 0%).

### Термодинамический расчет

**Определить вероятность образования кордиерита ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ) в температурном интервале его кристаллизации с учетом соотношения исходных компонентов.**

(Выделенным шрифтом указано индивидуальное задание, невыделенным –

пункты задания для всех вариантов).

### Некоторые темы курсовых работ

1. Расплав при температуре  $1700^{\circ}\text{C}$  находится в равновесии в количестве 80% с кристаллами шпинели  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  и корунда  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , соотношение которых 3:1. Определить состав исходного расплава (система  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить и сравнить вероятность образования шпинели при температуре 1800K, если соотношение  $\text{MgO}:\text{Al}_2\text{O}_3 = 2:1; 1:2; 1:1$ , используя термодинамический расчет.

2. Расплав при температуре  $1400^{\circ}\text{C}$  в количестве 20% находится в равновесии с  $\alpha$ -тридимитом ( $\text{SiO}_2$ ) и кордиеритом ( $2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$ ), соотношение которых 1:5. Определить состав исходного расплава (система  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить устойчивость  $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$  в температурном интервале 1000 – 2000K (через  $200^{\circ}$ ), используя термодинамический расчет.

3. Точка исходного состава расплава находится в поле первичной кристаллизации шпинели  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  на изотерме  $1800^{\circ}\text{C}$  и содержание

$\text{MgO}$  составляет 35%. Определить состав исходного расплава (система  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить устойчивость  $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$  при температуре 1800K, используя термодинамический расчет.

4. Точка исходного состава расплава находится в поле первичной кристаллизации периклаза  $\text{MgO}$  на изотерме  $2400^{\circ}\text{C}$  и содержание  $\text{SiO}_2$  составляет 5%. Определить состав исходного расплава (система  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить вероятность образования форстерита  $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$  в температурном интервале 1400 – 2000K (через  $200^{\circ}$ ), учитывая соотношение исходных компонентов и используя термодинамический расчет.

5. Расплав при температуре  $1400^{\circ}\text{C}$  находится в равновесии в количестве 15% с кристаллами кордиерита  $2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$  и шпинели  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , соотношение которых 1:2. Определить состав исходного расплава (система  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить и сравнить вероятность образования шпинели  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  и форстерита  $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$  при температуре конца кристаллизации, учитывая соотношение исходных компонентов и используя термодинамический расчет.

6. Расплав, содержащий 50%  $\text{SiO}_2$ , при температуре  $1700^{\circ}\text{C}$  находится в рав-

новесии с форстеритом  $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$  в соотношении 4:1. Определить состав исходного расплава (система  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить и сравнить вероятность образования форстерита  $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$  и клиноэнстатита  $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$  при температуре 1700K, учитывая соотношение исходных компонентов и используя термодинамический расчет.

7. Точка исходного состава расплава находится на пограничной кривой, разделяющей поля кристаллизации кордиерита  $2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$  и муллита  $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ , и содержание  $\text{SiO}_2$  составляет 57%. Определить состав исходного расплава (система  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить и сравнить вероятность образования клиноэнстатита  $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$  при температуре 1700K, учитывая соотношение  $\text{MgO}:\text{SiO}_2 = 2:1; 1:2; 1:1$  и используя термодинамический расчет.

8. Расплав при температуре 1500°C в количестве 30% находится в равновесии с кристаллами  $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ , соотношение которых 2:1. Определить состав исходного расплава (система  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить вероятность образования  $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$  при температуре 1700K, учитывая соотношение исходных компонентов и используя термодинамический расчет.

9. Точка исходного состава расплава находится на соединительной линии  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  и содержание в ней  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет 10%. Определить состав исходного расплава (система  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить и сравнить устойчивость  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  в температурном интервале их кристаллизации, используя термодинамический расчет.

10. Расплав при температуре 1400°C находится в равновесии с кристаллами  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  в соотношении 2:1:5. Определить состав исходного расплава (система  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить устойчивость  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  в температурном интервале его кристаллизации, используя термодинамический расчет.

11. Дан химический состав портландцементного клинкера:

Содержание оксидов, масс. %			
CaO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$
62	11	4	23

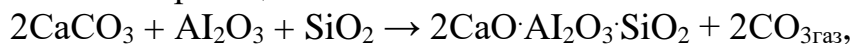
Пересчитать данный состав портландцементного клинкера к трехкомпонентному, используя метод эквимольной замены оксидов. Выполнить работу по диаграмме состояния (система  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , пункты заданий даны в примере).

Определить и сравнить устойчивость  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  и  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  при

температуре 1300K, используя термодинамический расчет.

12. Расплав начинает кристаллизоваться при температуре 1800°C с выделением  $\alpha$ -2CaO·SiO<sub>2</sub>, а при температуре 1500°C появляются кристаллы геленита 2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>. Определить состав исходного расплава (система CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub>). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить вероятность образования геленита 2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub> при температуре 1700K по реакции:



используя термодинамический расчет.

13. Расплав, содержащий 50% CaO, при температуре 1500°C находится в равновесии с кристаллами геленита 2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub> в количестве 60 и 40%. Определить состав исходного расплава (система CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub>). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить вероятность образования геленита 2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub> при температуре 1700K, учитывая соотношение исходных компонентов и используя термодинамический расчет.

14. Расплав при температуре 1900°C находится в равновесии с кристаллами CaO и 3CaO·SiO<sub>2</sub> в соотношении 4:2:1. Определить состав исходного расплава (система CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub>). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить вероятность образования 3CaO·SiO<sub>2</sub> в температурном интервале его кристаллизации, используя термодинамический расчет.

15. Расплав начинает кристаллизоваться при температуре 1700°C с выделением кристаллов муллита 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>, а при температуре 1400°C появляется  $\alpha$ -тридимит (SiO<sub>2</sub>). Определить состав исходного расплава (система CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub>). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить вероятность образования муллита 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub> в температурном интервале его кристаллизации, учитывая соотношение исходных компонентов и используя термодинамический расчет.

16. Расплав, содержащий 5% SiO<sub>2</sub>, при температуре 1900°C в количестве 55% находится в равновесии с кристаллами CaO. Определить состав исходного расплава (система CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub>). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Сравнить вероятность образования 3CaO·SiO<sub>2</sub> и 2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при температуре 1500K, если соотношение CaO:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:SiO<sub>2</sub> = 2:1:1 и 3:1:1, используя термодинамический расчет.

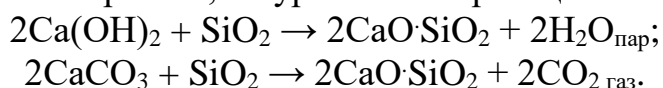
17. Расплав, содержащий 60% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, находится в равновесии с кристаллами CaO·6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и корунда  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в соотношении 2:1:2. Определить состав исходного

расплава (система  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить и сравнить устойчивость анортита  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  в температурном интервале 1200 – 2000K (через 100), используя термодинамический расчет.

18. Расплав, содержащий 30%  $\text{MgO}$ , при температуре 2000°C находится в равновесии с кристаллами периклаза  $\text{MgO}$  в соотношении 95:5. Определить состав исходного расплава в системе  $\text{MgO} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ . Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Сравнить вероятность образования  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  при температуре 1600K, используя термодинамический расчет, по уравнениям реакций:

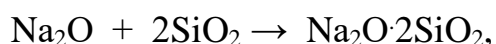


19. Расплав, содержащий 40%  $\text{CaO}$ , начинает кристаллизоваться при температуре 1400°C с выделением псевдоволластонита  $\alpha\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Определить состав исходного расплава (система  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить вероятность образования  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  в температурном интервале его кристаллизации, учитывая соотношение исходных компонентов и используя термодинамический расчет.

20. Точка исходного состава расплава находится в поле первичной кристаллизации  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$  на изотерме 1200°C и содержание  $\text{SiO}_2$  в ней равно 55%. Определить состав исходного расплава (система  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить вероятность образования  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$  при температуре 1000K по реакции:



используя термодинамический расчет.

21. Расплав, содержащий 71%  $\text{SiO}_2$ , находится в равновесии с кристаллами девитрита  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$  и  $\beta\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$  волластонита в количестве 60, 30 и 10%. Определить состав исходного расплава (система  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить вероятность образования  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$  в температурном интервале его кристаллизации, учитывая соотношение исходных компонентов и используя термодинамический расчет.

22. Расплав, содержащий 54%  $\text{SiO}_2$ , начинает кристаллизоваться при температуре 1150°C с выделением  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$ . Определить состав исходного расплава (система  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить и сравнить устойчивость  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$  при температуре 1150K, используя термодинамический расчет.

23. Расплав, содержащий 72%  $\text{SiO}_2$ , при температуре  $1000^\circ\text{C}$  находится в равновесии с кристаллами девитрита  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$  в количестве 45 и 55% соответственно. Определить состав исходного расплава (система  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить вероятность образования  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  при температуре  $1500\text{K}$ , используя термодинамический расчет, если соотношение  $\text{CaO}:\text{SiO}_2=2:1$ ,  $1:1$  и  $3:2$ .

24. Расплав, содержащий 55%  $\text{SiO}_2$ , находится в равновесии с кристаллами  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  и  $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$  в соотношении  $1:2:2$  соответственно. Определить состав исходного расплава (система  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ ). Выполнить работу по диаграмме состояния (пункты заданий даны в примере).

Определить и сравнить вероятность образования  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$  при температуре  $1000\text{K}$ , используя термодинамический расчет и учитывая соотношение исходных компонентов.

### 5.3. Перечень индивидуальных домашних заданий, расчетно-графических заданий

Учебным планом не предусмотрены.

### 5.4. Перечень контрольных работ

Контрольные работы выполняются при изучении раздела (модуля) «Фазовые равновесия и диаграммы состояния гетерогенных систем».

#### Контрольная работа 1.

Двухкомпонентные системы  $\text{CaO} - \text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO} - \text{SiO}_2$ , их диаграммы состояния, правила работы с ними, определение составов и количественного соотношения равновесных фаз при изменении внешних условий.

Задача 1. Определить температуру начала и конца кристаллизации расплава, содержащего  $x$  %  $\text{Na}_2\text{O}$  (система  $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ ), указать состав продукта полной кристаллизации.

вариант	содержание $x$ % $\text{Na}_2\text{O}$		вариант	содержание $x$ % $\text{Na}_2\text{O}$
1	5		8	35
2	10		9	40
3	12		10	45
4	15		11	50
5	20		12	55
6	25		13	60
7	30		14	65

Задача 2. Определить составы исходных смесей (система  $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ ), при нагреве которых до температуры  $x^\circ\text{C}$  образуют  $y\%$  жидкой фазы. Указать составы равновесных фаз при данной температуре.

вариант	$t_x, ^\circ\text{C}$	$y, \%$		вариант	$t_x, ^\circ\text{C}$	$y, \%$
1	900	25		8	1000	50
2	900	50		9	1000	75
3	900	75		10	1050	25
4	950	25		11	1050	50
5	950	50		12	1050	75
6	950	75		13	1100	25
7	1000	20		14	1100	50

Задача 3. Определить последовательность фазовых изменений при охлаждении расплава, содержащего  $x\%$   $\text{CaO}$  (система  $\text{CaO} - \text{SiO}_2$ ).

вариант	содержание $x\%$ $\text{CaO}$		вариант	содержание $x\%$ $\text{CaO}$
1	5		8	50
2	10		9	60
3	15		10	65
4	20		11	70
5	30		12	80
6	40		13	85
7	45		14	90

Задача 4. Дан расплав, в составе которого  $x\%$   $\text{CaO}$  (система  $\text{CaO} - \text{SiO}_2$ ). Скорректировать состав расплава, чтобы температура начала кристаллизации была равна  $t=y^\circ\text{C}$ .

вариант	содержание $x\%$ $\text{CaO}$	$t_y, ^\circ\text{C}$		вариант	содержание $x\%$ $\text{CaO}$	$t_y, ^\circ\text{C}$
1	30	1500		8	63	1550
2	30	1450		9	63	1500
3	30	1600		10	80	2100
4	45	1420		11	85	2300
5	45	1450		12	85	2200
6	60	1650		13	90	2300
7	60	1600		14	90	2200

Задача 5. Расплав, содержащий  $X\%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  (система  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ), находится в равновесии с кристаллами муллита  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  в соотношении  $x:y$ .

вариант	содержание $X\%$ $\text{Al}_2\text{O}_3$	Соотношение $x:y$		вариант	содержание $X\%$ $\text{Al}_2\text{O}_3$	соотношение $x:y$
1	10	1:5		8	40	1:9
2	10	5:1		9	40	9:1
3	20	1:1		10	40	4:1
4	20	3:1		11	40	1:3
5	20	1:6		12	45	27:73
6	30	3:2		13	50	6:5



7	30	2:3		14	50	5:4
---	----	-----	--	----	----	-----

## **Контрольная работа 2.**

Трехкомпонентные силикатные системы  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$ , их диаграммы состояния, правила работы с ними, определение составов и количественного соотношения равновесных фаз при изменении внешних условий.

Условия некоторых задач, которые могут быть предложены при выполнении контрольной работы 2:

1. Дана смесь кристаллов 10% кварца, 85% волластонита ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) и 5% анортита ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ). Определить:

1) температуру начала плавления, состав и количество образующегося расплава при этой температуре;

2) температуру конца плавления и состав расплава.

2. При температуре  $1700^\circ\text{C}$  расплав в количестве 40% находится в равновесии с кристаллами муллита ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) и корунда ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), соотношение которых 1:2. Определить состав исходной смеси (система  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ).

3. Дать схему фазовых превращений при охлаждении расплава состава 57%  $\text{CaO}$ , 2%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 41%  $\text{SiO}_2$ .

4. Расплав, содержащий 20%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , при температуре  $1500^\circ\text{C}$  находится в равновесии с кристаллами геленита ( $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ). Определить состав исходной смеси.

5. Шлак содержит 40%  $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , 20% ранкинита  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$  и стекло, содержащее 8%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Определить химический состав шлака.

6. Дать схему фазовых превращений при кристаллизации расплава, точка состава которого лежит в поле первичной кристаллизации шпинели  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  и в элементарном треугольнике  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - 4\text{MgO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ .

7. Расплав имеет состав: 25%  $\text{MgO}$ , 45%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 30%  $\text{SiO}_2$ . Определить какие фазы образуются при полной кристаллизации этого расплава.

8. Дана смесь кристаллов 70% форстерита ( $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ), 20% энстатита ( $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ) и 10% кордиерита ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ). Определить, какие фазы по составу и в каком количественном соотношении находятся в равновесии при нагреве до температуры  $1500^\circ\text{C}$ .

9. При температуре  $1400^\circ\text{C}$  расплав находится в равновесии с кордиеритом  $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$  и шпинелью  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  в соотношении 1:2:3. Определить состав исходной смеси.

10. Кристаллизация расплава начинается при температуре  $1700^\circ\text{C}$  с выделением муллита ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), а при охлаждении до  $1500^\circ\text{C}$  появляется  $\alpha$ -кристобалит. Определить состав исходного расплава (система  $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ).

11. Дать схему изменения фазового равновесия при охлаждении расплава, точка состава которого находится в элементарном треугольнике  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 - 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{MgO}$  в поле первичной кристаллизации  $\text{CaO}$ .

12. Дан расплав состава 38%  $\text{MgO}$ , 42%  $\text{CaO}$ , 20%  $\text{SiO}_2$ . Определить температуру начала кристаллизации, состав и количество равновесного расплава при охлаждении системы до  $2000^\circ\text{C}$ .

13. Определить состав исходной смеси для получения материала, содержащего одинаковые количества форстерита ( $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ ) и клиноэнстатита ( $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ ) и 40% стекла, содержащего 10%  $\text{CaO}$ .

14. Определить состав исходной смеси для получения материала, содержащего одинаковые количества  $\alpha\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$  и стеклофазы, содержащей 5%  $\text{MgO}$ , 35%  $\text{CaO}$ , 60%  $\text{SiO}_2$ .

15. Расплав начинает кристаллизоваться при  $t=2000^\circ\text{C}$  и содержит 47%  $\text{MgO}$  (система  $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$ ). Определить температуру конца кристаллизации, состав продукта кристаллизации.

## 6. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

### 6.1. Перечень основной литературы

1. *Савельев В.Г.* Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: Учебник /В.Г.Савельев, А.И.Рабухин. – М.: ИНФРА, – 2004. – 351 с.
2. *Бушуева Н.П.* Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: Силикаты и другие тугоплавкие соединения в кристаллическом состоянии: Учебное пособие /Н.П. Бушуева, И.А.Ивлева, О.А.Панова, Е.И.Евтушенко – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 184 с.
3. *Бушуева Н.П.* Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: Лабораторный практикум /Н.П.Бушуева. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2012. – 76 с.
4. *Бушуева Н.П.* Фазовые равновесия в гетерогенных системах: Практикум /Н.П.Бушуева. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2013. – 80 с.
5. *Горшков В.С.* Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений: Учеб. для вузов /В.С. Горшков, В. Г. Савельев, Н.Ф. Федоров. – М.: Высшая школа, 1988. – 400 с.

### 6.2. Перечень дополнительной литературы

1. Физическая химия силикатов. /Под ред. Пащенко А.А./ – М.: Высшая школа, 1986. – 365 с.
2. *Куколев Г.В.* Химия кремния и физическая химия силикатов: Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1966. – 463 с.
3. *Кузнецова Т.В.* Физическая химия вяжущих материалов: Учеб. для хим.технол. спец. вузов /Т.В.Кузнецова, И.В.Кудряшов, В.В.Тимашев. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
4. *Бобкова Н.М.* Физическая химия силикатов и тугоплавких соединений: Учебник для вузов. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 256 с.
5. *Торопов Н.А.* Диаграммы состояния силикатных систем. – Л.: Наука, 1972. – Т. 3. – 523 с.
6. *Бабушкин В.И.* Термодинамика силикатов. /В.И.Бабушкин, Г.М.Матвеев, О.П.Мчедлов-Петросян. – М.: Стройиздат, 1986. – 408 с.

7. Павленко В.И. Химическая термодинамика: учебное пособие для вузов. /В.И. Павленко. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.
8. Барзаковский В.П. Диаграммы состояния силикатных систем. /В.П. Барзаковский, В.В. Лапин, Н.Н. Курцева. – Л.: Наука, 1971. Вып. 1 – 4. – 235 с.
9. Расчет фазовых равновесий в гетерогенной системе / Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» для студентов специальности 240304 – «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» /Н.П.Бушуева, М.С.Шиманская. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2010. – 30 с.
10. Краткий справочник физико–химических величин / Под ред. А.А. Равделя, А.Н. Пономаревой.- Л.: Химия. – 1983.

### **6.3. Перечень интернет ресурсов**

1. <http://WWW.knigafund.ru/>
2. <http://ntb.bstu.ru/resources/el.php>
3. <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
4. <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/->

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Реализация программы учебной дисциплины требует наличия специально оборудованных кабинетов и лабораторий. Организация отдельных лекций по дисциплине «Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» проводится на базе специализированной аудитории, оснащенной компьютеризированным комплексом рабочего места преподавателя.

Лабораторные занятия ведутся в специализированных учебных лабораториях № 302 и 210 кафедры технологии стекла и керамики, оборудованной в соответствии с требованиями, предъявляемыми к учебным химическим лабораториям.

В лаборатории имеются приборы и оборудование: микроскоп МИН-8, микроскоп «ЙЕНАВАЛ», микроскоп «ПОЛАМ Р-211», ультратермостат ТУРЕ: 657 МТА KUTESZ; водяная баня; микроскоп МБУ-4; высокотемпературный микроскоп МНО-2; рентгенофлуоресцентный спектрометр серии ARL 9900 WorkStation со встроенной системой дифракции; автоклав высокого давления для тестирования постоянства объема призм раствора, Testing (Германия); сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU; весы технические, торсионные и аналитические ВЛКТ-500; муфельная печь; силовая печь; шахтная печь; ротационный вискозиметр РВ-8; вискозиметр ВМ; вискозиметр «Брукфильд», кварцевый dilatометр ДКВ-1 (подключен к компьютеру для обработки результатов и получения dilatометрической кривой); гидравлический пресс. В лаборатории имеются необходимые химическая посуда и химические ре-

активы.

Имеются компьютеры и соответствующее программное обеспечение для сопровождения эксперимента и ведения сложных расчетов.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

### **Приложение №1.**

Методические указания и учебные пособия для обучающегося по освоению дисциплины:

1. *Бушуева Н.П.* Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: Силикаты и другие тугоплавкие соединения в кристаллическом состоянии: учеб. пособие / Н.П. Бушуева, И.А.Ивлева, О.А.Панова, Е.И.Евтушенко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. - 184с.
2. *Бушуева Н.П.* Фазовые равновесия в гетерогенных системах: Практикум /Н.П.Бушуева. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2013. – 80 с.
3. *Бушуева Н.П.* Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: Лабораторный практикум /Н.П.Бушуева. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2012. – 76 с.

## **8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

Рабочая программа с изменениями в п. 6:

### **6. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

#### **6.1. Перечень основной литературы**

1. *Савельев В.Г.* Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: Учебник. /В.Г.Савельев, А.И.Рабухин. – М.: ИНФРА, – 2004. – 351 с.
2. *Бушуева Н.П.* Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: Силикаты и другие тугоплавкие соединения в кристаллическом состоянии: учеб. пособие / Н.П. Бушуева, И.А.Ивлева, О.А.Панова, Е.И.Евтушенко – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 184 с.
3. *Бушуева Н.П.* Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: Лабораторный практикум /Н.П.Бушуева. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2012. – 76 с.
4. *Бушуева Н.П.* Фазовые равновесия в гетерогенных системах: Практикум /Н.П.Бушуева. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2013. – 80 с.
5. *Горшков В.С.* Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений: Учеб. для вузов /В.С. Горшков, В. Г. Савельев, Н.Ф. Федоров. – М.: Высшая школа, 1988. – 400 с.
6. *Бушуева Н.П.* Физическая химия силикатов: учеб. пособие / Н.П. Бушуева, О.А. Панова. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. – 102 с.

#### **6.2. Перечень дополнительной литературы**

1. Физическая химия силикатов. /Под ред. Пащенко А.А./ – М.: Высшая школа, 1986. – 365 с.
2. Куколев Г.В. Химия кремния и физическая химия силикатов: Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1966. – 463 с.
3. Кузнецова Т.В. Физическая химия вяжущих материалов: Учеб. для хим.технол. спец. вузов /Т.В.Кузнецова, И.В.Кудряшов, В.В.Тимашев. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
4. Бобкова Н.М. Физическая химия силикатов и тугоплавких соединений: Учебник для вузов. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 256 с.
5. Торопов Н.А. Диаграммы состояния силикатных систем. – Л.: Наука, 1972. – Т. 3. – 523 с.
6. Бабушкин В.И. Термодинамика силикатов. /В.И.Бабушкин, Г.М.Матвеев, О.П.Мчедлов-Петросян. – М.: Стройиздат, 1986. – 408 с.
7. Павленко В.И. Химическая термодинамика: учебное пособие для вузов. /В.И. Павленко. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.
8. Барзаковский В.П. Диаграммы состояния силикатных систем. /В.П. Барзаковский, В.В. Лапин, Н.Н. Курцева. – Л.: Наука, 1971. Вып. 1 – 4. – 235 с.
9. Расчет фазовых равновесий в гетерогенной системе /Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Физическая

- мия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» для студентов специальности 240304 – «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов /Н.П.Бушуева, М.С.Шиманская. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2010. – 30 с.
10. Краткий справочник физико–химических величин. / Под ред. А.А. Равделя, А.Н. Пономаревой. - Л.: Химия. – 1983.
11. Расчет фазовых равновесий в гетерогенной силикатной системе: Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплинам «Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов», «Физическая химия силикатов» для студентов направления 18.03.01 – Химическая технология /сост. Н.П. Бушуева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 29 с.

утверждена на 2017 /2018 учебный год.

Протокол № 1 заседания кафедры от « 7 » сентября 2017г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

  
подпись, ФИО

Директор института \_\_\_\_\_

  
подпись, ФИО

## 8.2 УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа утверждена без изменений на 2018/2019 учебный год.

Протокол № 11 заседания кафедры от 28.05.2018г.

/Заведующий кафедрой ТСК  Евтушенко Е.И.

/Директор ХТИ  Павленко В.И.