

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра технологии неорганических веществ
и общей химической технологии**

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ТОНКОГО НЕОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

**Программа, контрольные задания и методические указания
по выполнению контрольных заданий для студентов
специальности 1-48 01 01 «Химическая технология
неорганических веществ, материалов и изделий»
специализации 1-48 01 01 01 «Технология минеральных
удобрений, солей и щелочей»
заочной формы обучения**

Минск 2012

УДК 661.2/6(073)
ББК 35.20я73
Т38

Рассмотрены и рекомендованы редакционно-издательским советом университета

Составитель
Л. С. Ещенко

Рецензент
кандидат технических наук, доцент кафедры
химической переработки древесины БГТУ
Н. В. Жолнерович

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2012 год. Поз. 182.

Для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 01 «Технология минеральных удобрений, солей и щелочей» заочной формы обучения.

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью дисциплины «Технология продуктов тонкого неорганического синтеза» является изучение студентами, обучающимися по специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий», теоретических основ и способов получения химических продуктов с комплексом заданных свойств, приобретение навыков в области синтеза неорганических веществ, материалов и исследований их состава и свойств, использование знаний для решения практических задач при создании и совершенствовании технологических процессов малотоннажных производств.

В соответствии с указанной целью, **основными задачами дисциплины** «Технология продуктов тонкого неорганического синтеза» являются:

- изучение теоретических основ получения растворимых соединений методом кристаллизации;
- изучение физико-химических процессов, протекающих при химическом осаждении труднорастворимых соединений и старении осадков в системе осадок – маточный раствор;
- ознакомление с методами синтеза нанодисперсных систем;
- анализ и создание технологических схем получения неорганических веществ методами химического осаждения, термическими, плазмохимическими методами.

После изучения дисциплины студент должен **знать**:

- роль и значение продуктов тонкого неорганического синтеза в создании эффективных технических материалов многоцелевого назначения;
- классификацию и характерные особенности методов синтеза неорганических соединений заданных состава и свойств;
- физико-химические основы топохимического образования новой твердой фазы в гетерогенных системах;
- особенности золь-гель-ксерогель способа получения дисперсных систем, в частности гидратированных оксидов, безводных оксидов, фосфатов и других солей поливалентных металлов;
- химические и фазовые превращения, протекающие при термической обработке соединений;
- технологические схемы получения продуктов тонкого неорганического синтеза;

уметь:

– оценивать и выбирать способы химического осаждения для получения продуктов с комплексом заданных свойств;

– выполнять расчеты по определению расходных норм реагентов, выхода целевого продукта, степени отмывки осадка, скорости его фильтрации и отстаивания, потери массы при нагревании;

– проводить анализ состава продуктов на содержание основных компонентов методами аналитической химии.

В результате изучения дисциплины студент должен **иметь** следующие **компетенции**:

– уметь применять полученные базовые научно-теоретические знания для решения научных и практических задач в области создания и совершенствования инновационных технологических процессов малотоннажных производств;

– осуществлять комплексный подход к решению технологических, экологических, экономических проблем при разработке способов получения химических продуктов с комплексом заданных свойств;

– уметь использовать навыки проведения синтеза неорганических веществ и исследования их состава и свойств;

– выбирать оптимальные исходные реагенты, способы синтеза, аппаратное оформление технологических стадий получения неорганических веществ и материалов заданных состава и свойств;

– применять энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии в малотоннажном производстве неорганических веществ и материалов.

ВВЕДЕНИЕ

Тонкий синтез является основой производства разнообразных по составу, свойствам, применению неорганических продуктов, таких как реактивы и особо чистые вещества, ионообменники, катализаторы, сорбенты, пигменты, наполнители, коагулянты, люминофоры и др. В настоящее время применяют различные способы, обеспечивающие получение технических продуктов заданных химического, фазового состава, дисперсности, свойств. Накопленные за последнее время научные знания, экспериментально установленные закономерности образования твердой фазы в многокомпонентных системах позволяют не только описать в качественной форме особенности тонкого неорганического синтеза, но и оценить с количественной стороны параметры технологического режима, необходимые для производства соединений с комплексом эксплуатационных свойств. Следует отметить, что разобщенность отдельных малотоннажных производств отрицательно влияет на накопление и обобщение инженерного опыта в получении продуктов тонкого неорганического синтеза. Вместе с тем потребность в них постоянно возрастает, что требует создания новых, расширения существующих производств и, следовательно, подготовки квалифицированных специалистов для управления ими.

Кроме того, с возникновением новой, бурно развивающейся отрасли – технологии нанодисперсных систем (или нанотехнологии) – необходима подготовка специалистов и в этой области. Открывшиеся в 90-х годах прошлого столетия значительные перспективы использования особых (а иногда и уникальных) свойств ультрадисперсных (нано) систем ускорили разработку промышленных химико-технологических процессов получения новых материалов на их основе. Особого внимания заслуживают химия и технология ультрадисперсных гидратированных и безводных оксидов и солей поливалентных металлов, кремния, которые являются основой катализаторов и адсорбентов, пигментов и наполнителей, магнитных носителей информации, керамических нанокompозитов.

1. ПРОГРАММА КУРСА

ВВЕДЕНИЕ

Цели и задачи дисциплины. Характеристика продуктов тонкого неорганического синтеза, их свойства и применение. Требования, предъявляемые к реактивам, особо чистым веществам, сорбентам, пигментам, ионообменникам, коагулянтам и другим техническим продуктам. Основные направления развития и совершенствования малотоннажных производств.

Раздел 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ИХ ХИМИЧЕСКОМУ И ФАЗОВОМУ СОСТАВУ, ДИСПЕРСНОСТИ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ СВОЙСТВАМ

1.1. Химический, фазовый состав, дисперсность неорганических соединений. Рентгеноаморфные и кристаллические соединения, дисперсные системы, соединения постоянного и переменного состава. Соединения реактивной квалификации и особо чистые вещества. Краткая характеристика методов анализа дисперсных систем.

1.2. Физические, физико-химические свойства неорганических соединений. Технические характеристики и эксплуатационные свойства продуктов целевого назначения. Взаимосвязь между способом, условиями получения, составом и свойствами получаемых продуктов.

Раздел 2. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Получение растворимых кристаллических соединений. Особенности процессов зарождения новой фазы. Характеристика процессов кристаллизации, химического осаждения из растворов. Теоретические основы процессов кристаллизации. Пересыщенные растворы.

Скорость зародышеобразования. Механизм и скорость роста кристаллов. Влияние примесей на механизм и скорость кристаллизации растворимых соединений. Примеры процессов получения растворимых кристаллических соединений.

2.2. Получение труднорастворимых соединений способами химического осаждения. Физико-химические основы топохимического образования твердой фазы. Понятие о системе осадок – маточный раствор. Особенности образования труднорастворимых осадков и их старения в системе осадок – жидкая фаза. Физическое, химическое старение осадка при контакте его с маточным раствором.

2.3. Воздействие компонентов маточного раствора на степень осаждения твердой фазы. Зависимость химического, фазового состава, дисперсности осадков от условий осаждения. Правило осаждения труднорастворимых осадков Веймарна и Тананаева.

2.4. Химическое загрязнение осадков. Типы соосаждения примесей: адсорбция, окклюзия.

2.5. Классификация и характеристика способов химического осаждения из растворов. Гетерогенные, гомогенные способы химического осаждения. Гидротермальный синтез. Сравнительный анализ способов химического осаждения, их преимущества и недостатки. Выбор способа осаждения для получения продуктов с комплексом заданных свойств.

2.6. Общие закономерности образования нанодисперсных систем. Методы синтеза наночастиц. Диспергирование. Жидкофазная конденсация – основа золь-гель технологии. Основные стадии поликонденсации. Особенности золь-гель-ксерогель способа получения дисперсных систем. Физико-химические основы получения нанодисперсных золь-гелей. Осаждение из паровой фазы порошков кремнезема, диоксидов титана, олова и др. Физико-химические основы получения нанодисперсных систем оксидов и гидроксидов железа из водных растворов.

2.7. Термические способы получения неорганических веществ. Термообработка как технологическая стадия производства оксидов и солей металлов с заданным составом и свойствами. Особенности процесса дегидратации различных типов гидратов. Изменение химического, фазового состава, дисперсности оксидов, солей поливалентных металлов в зависимости от температуры и продолжительности термообработки. Плазмохимические, криогенногидратные способы получения неорганических веществ.

Раздел 3. РЕСУРСО-, ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ ЗАДАННЫХ ХИМИЧЕСКОГО, ФАЗОВОГО СОСТАВА, ДИСПЕРСНОСТИ И СВОЙСТВ

3.1. Промышленное получение продуктов тонкого неорганического синтеза. Циклическая технологическая схема получения труднорастворимых фосфатов трехвалентных металлов реактивной квалификации и ее особенности. Малостадийные схемы получения неорганических продуктов, композиционных материалов. Технологические стадии и основное оборудование, применяемое при высокотемпературном способе получения материалов.

3.2. Технологические схемы получения наноматериалов с комплексом заданных свойств. Технологические стадии получения нанодисперсных гидратированных и безводных оксидов, солей поливалентных металлов и их аппаратурное оформление. Перспективные технологические решения в малотоннажном производстве неорганических продуктов: реактивов, катализаторов, пигментов.

Раздел 4. ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПРОДУКТОВ ТОНКОГО НЕОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

4.1. Техника безопасности при производстве химических продуктов. Мероприятия по предотвращению производственного травматизма. Основные направления создания экологически безопасных химических производств.

ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Гетерогенное осаждение труднорастворимых осадков (гидроксидов, силикатов, фосфатов металлов). Определение состава и физико-технологических свойств (коэффициента фильтрации, скорости отстаивания и объемов конечного отстоя осадков, распределения частиц по размерам) получаемых осадков.

2. Гомогенное осаждение труднорастворимых осадков гидроксидов, гидроксофосфатов поливалентных металлов и исследование их свойств.

3. Получение оксидов металлов термическим методом.

4. Получение сульфата железа (II) кристаллизацией из раствора.

5. Получение золя оксида кремния.

2. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Основные понятия и определения: синтез, тонкий синтез, получение, производство, технология, многотоннажное производство, малотоннажное производство, технический материал, целевой продукт.
2. Реакции, лежащие в основе синтеза неорганических продуктов.
3. Химические, физические, эксплуатационные свойства продуктов тонкого неорганического синтеза. Примеры.
4. Образование химических осадков. Научные представления о механизме зарождения новой фазы и их развитие. Понятие о зародыше.
5. Способы получения продуктов тонкого неорганического синтеза. Основные характеристики процессов кристаллизации и химического осаждения.
6. Параметры процессов получения продуктов тонкого неорганического синтеза и показатели процессов. Примеры.
7. Гетерогенные и гомогенные способы осаждения неорганических веществ и их варианты.
8. Основные технологические стадии процесса получения неорганических веществ методом химического осаждения. Функциональная схема процесса.
9. Форма и тип образующихся осадков при химическом осаждении. Примеры.
10. Особенности стадий химического осаждения. Влияние способа и условий осаждения на состав и свойства образующихся осадков.
11. Закономерности осаждения малорастворимых веществ.
12. Загрязнение химических осадков. Основные типы соосаждения.
13. Гидротермальный синтез и его особенности. Примеры получения веществ гидротермальным методом.
14. Высокотемпературные способы получения неорганических веществ на примере оксидов металлов.
15. Получение оксидов металлов методом дегидратации гидроксидов. Особенности процесса получения оксида алюминия.
16. Синтез нанодисперсных веществ на примере оксидов и оксигидроксидов железа.
17. Технологические стадии получения неорганических веществ высокотемпературным методом.

18. Основное оборудование, применяемое для процессов термообработки.

19. Разновидности физического и химического старения осадков.

20. Химический, фазовый состав, дисперсность продуктов химического осаждения и методы их определения.

21. Основные химические, фазовые превращения, протекающие при термообработке неорганических соединений. Примеры.

22. Влияние режима термообработки на химический, фазовый состав, дисперсность продуктов.

23. Система осадок – маточный раствор. Индукционный период при образовании химических осадков и его характеристика.

24. Типы воды, входящей в состав неорганических соединений, и характеристика процессов дегидратации.

25. Аппаратурное оформление технологических стадий процессов получения неорганических продуктов методами химического осаждения.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

3.1. Общие указания

Учебным планом специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 01 «Технология минеральных удобрений, солей и щелочей» заочной формы обучения для изучения дисциплины «Технология продуктов тонкого неорганического синтеза» отводится 100 ч, в том числе лекции – 8 ч, лабораторные занятия – 8 ч, самостоятельная работа студентов – 84 ч.

Основной формой приобретения знаний по дисциплине для студентов заочной формы обучения является самостоятельная работа над учебной, учебно-методической и монографической литературой. Для закрепления полученных знаний после самостоятельного изучения курса и лучшего усвоения материала студенты выполняют контрольную работу. Для ее успешного выполнения необходимо ознакомиться с теоретическими основами технологии продуктов тонкого неорганического синтеза по рекомендуемой учебной и научно-технической литературе. Теоретическая часть курса состоит из ряда важнейших тем, изучение которых должно предшествовать выполнению контрольной работы. Следует уделить особое внимание способам химического осаждения труднорастворимых неорганических веществ из растворов, физико-химическим основам гетерогенного, гомогенного осаждения, гидротермальному синтезу таких соединений, как гидратированные оксиды, соли поливалентных металлов, а также золь-гель технологии нанодисперсных неорганических соединений.

При изучении курса большое значение придается овладению методикой расчетов расходных норм реагентов с учетом способа и условий осуществления синтеза неорганических веществ и составления материального баланса. Выполнение данных расчетов способствует усвоению курса, так как при этом рассматриваются стадии получения того или иного неорганического соединения, учитываются особенности химических превращений, показатели процесса, концентрация реагентов, состав исходного сырья и получаемых продуктов.

Контрольная работа включает теоретический вопрос и практическое задание. Теоретические вопросы охватывают основные разделы программы дисциплины. Практические задания предусматривают расчет расходных норм реагентов для синтеза неорганических соединений заданного состава, написание химических реакций при взаимодействии реагентов в заданных системах, брутто-состав состав продуктов по результатам их химического анализа, составление материального баланса процесса получения неорганических соединений. Для выполнения контрольной работы необходимо использовать, как правило, несколько литературных источников, которые указаны в разделе «Литература». При решении практического задания рекомендуется использовать учебно-методические пособия, в частности [9, 10].

В пособии представлены примеры решения задач по расчетам химико-технологических процессов получения неорганических веществ золь-гель методом, методом химического осаждения и другими, которые могут быть полезными при выполнении практического задания.

3.2. Примеры выполнения расчетов по практическому заданию

Пример 1

Условие

При взаимодействии $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ с водным раствором NH_4OH образуется осадок, который после старения, фильтрации, отмывки и сушки имеет следующий состав, мас. %: Al_2O_3 – 57,2; H_2O – 42,8.

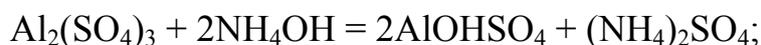
Составьте брутто-формулу продукта в пересчете на 1 моль Al_2O_3 .

Охарактеризуйте процессы, протекающие в системе, напишите уравнения реакций.

Составьте материальный баланс получения 1 т гидратированного оксида алюминия, имеющего химический состав в соответствии с рассчитанной брутто-формулой, если используется 0,5 М раствор $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, приготовленный из $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ($\rho = 1,07 \text{ г/см}^3$) и 15%-ный раствор NH_4OH . Коэффициент избытка аммиака – 2,0 от стехиометрии. Выход продукта составляет 96,6%. Влажность осадка после фильтра – 65,7 мас. %.

Решение

При взаимодействии сульфата алюминия с водным раствором аммиака протекает гидролиз соли по катиону:





В результате образуется рентгеноаморфный осадок гидратированного оксида алюминия брутто-состава $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Кристаллическая структура $\text{Al}(\text{OH})_3$ формируется в результате рекристаллизации при физическом старении.

Составим брутто-формулу продукта, исходя из процентного содержания Al_2O_3 и H_2O с учетом их молярных масс:

$$1) M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102 \text{ г/моль (кг/кмоль)};$$

$$2) M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль (кг/кмоль)}.$$

Рассчитаем количество молей (кмоль) компонентов в осадке:

$$\frac{57,2}{102} = 0,56; \quad \frac{42,8}{18} = 2,38,$$

получаем $0,56\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,38\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,25\text{H}_2\text{O}$.

Рассчитаем материальный баланс получения 1 т продукта состава $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4,25\text{H}_2\text{O}$.

В основе процесса получения лежит следующая суммарная реакция:



Исходя из химического состава гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$, на 1 кмоль Al_2O_3 приходится 3 кмоль H_2O , поскольку $2\text{Al}(\text{OH})_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Согласно условию задачи, в полученном продукте присутствует избыточная, «сверхстехиометрическая» вода, и ее количество составляет $4,25 - 3 = 1,25$ кмоль, что составляет $1,25 \cdot 18 = 22,5$ кг, где 18 – молярная масса H_2O , кг/кмоль. Следовательно, в результате процесса осаждения должно образоваться $1000 - 22,5 = 977,5$ кг гидроксида алюминия состава $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Из условия задачи известно, что выход продукта составляет 96,6%, т. е. имеются технологические потери, следовательно, должно образоваться $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ в количестве

$$\frac{977,5}{0,966} = 1011,9 \text{ кг.}$$

Исходя из того, что на 1 кмоль $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ приходится 1 кмоль $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, получаем необходимое количество сульфата алюминия:

$$m_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = \frac{1011,9 \cdot 342}{156} = 2200,75 \text{ кг,}$$

где 342 кг/кмоль – молярная масса $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; 156 кг/кмоль – молярная масса $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

или

$$\frac{1983,75}{342} = 5,8 \text{ кмоль.}$$

Тогда объем раствора соли составит $5,8 / 0,5 = 11,6 \text{ м}^3$, где 0,5 моль/л (кмоль/м³) – концентрация раствора соли $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, масса этого раствора соли $11,6 \cdot 1070 = 12\,412,94 \text{ кг}$ (1070 кг/м³ – плотность раствора $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

Раствор соли готовят растворением $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, необходимое количество которого составляет

$$\frac{1983,75 \cdot 504}{342} = 2923,42 \text{ кг,}$$

где 504 кг/кмоль – молярная масса кристаллогидрата $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$.

Масса кристаллогидратной воды, которая поступает с солью,

$$2923,42 - 1983,75 = 939,67 \text{ кг H}_2\text{O}.$$

Тогда для приготовления необходимого количества раствора необходимо добавить

$$12\,412,94 - 2923,42 = 9489,52 \text{ кг H}_2\text{O}.$$

Необходимая масса гидроксида аммония

$$m_{\text{NH}_4\text{OH}} = \frac{904,87 \cdot 6 \cdot 35}{156} = 1218,09 \text{ кг.}$$

Масса 15 мас. %-ного раствора NH_4OH с учетом двукратного избытка

$$\frac{1218,09 \cdot 2}{0,15} = 16\,241,2 \text{ кг.}$$

Масса образующегося сульфата аммония

$$\frac{904,87 \cdot 3 \cdot 132}{156} = 2296,98 \text{ кг,}$$

где 132 кг/кмоль – молярная масса сульфата аммония.

Потери гидратированного оксида алюминия на технологических стадиях процесса

$$904,87 - 874,1 = 30,77 \text{ кг.}$$

Масса воды в жидкой фазе

$$m_{\text{H}_2\text{O}} \text{ с раствором соли} + m_{\text{H}_2\text{O}} \text{ с раствором NH}_4\text{OH} - m_{\text{H}_2\text{O}} \text{ сверхстехиометрическая} = \\ = 10\,429,19 + 13\,805,02 - 125,9 = 24\,108,31 \text{ кг.}$$

Вода, расходуемая на образование гидроксида алюминия $Al(OH)_3$, поступает с NH_4OH ($NH_4OH = NH_3 \cdot H_2O$) (см. уравнение реакции).

Материальный баланс процесса осаждения и старения осадка гидратированного оксида алюминия представлен в табл. 1.

Таблица 1

Материальный баланс процесса осаждения и старения осадка гидратированного оксида алюминия

Приход	кг	Расход	кг
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	2 923,42	Суспензия	
В том числе:		В том числе:	
$Al_2(SO_4)_3$	1 983,75	а) твердая фаза (в пересчете на сухое вещество)	1 000
$H_2O_{\text{кристаллическая}}$	939,67		
$H_2O_{\text{на разбавление}}$	9 489,52	В том числе:	
		Al_2O_3	572
		$H_2O_{\text{связанная}}$	302,1
		$H_2O_{\text{сверхстехиометрическая}}$	125,9
		б) жидкая фаза	27 703,33
		В том числе:	
		$(NH_4)_2SO_4$	2 296,98
		NH_4OH	1 218,04
		H_2O	24 188,31
Раствор NH_4OH	16 241,2	Потери	30,77
NH_4OH	2 436,18		
H_2O	13 805,02		
<i>Всего</i>	28 654,14	<i>Всего</i>	28 654,15

После стадии осаждения и старения полученная суспензия подается на фильтрацию и отмывку. Из условия задачи следует, что после фильтрации и отмывки образуется осадок с влажностью 65,7 мас. %. Следовательно, осадок содержит 657 кг воды. Материальный баланс стадии сушки представлен в табл. 2.

Таблица 2

Материальный баланс процесса сушки гидратированного оксида алюминия

Приход	кг	Расход	кг
Влажный продукт	1657	$Al_2O_3 \cdot 4,25H_2O^*$	1000
В том числе:		В том числе:	
$Al_2O_3 \cdot 4,25H_2O$	1000	Al_2O_3	572
В том числе:		$H_2O_{\text{связанная}}$	302,1
Al_2O_3	572	$H_2O_{\text{сверхстехиометрическая}}$	125,9
$H_2O_{\text{связанная}}$	302,1	Испарившаяся H_2O	657
$H_2O_{\text{сверхстехиометрическая}}$	125,9		
$H_2O_{\text{свободная}}$	657		
<i>Всего</i>	1657	<i>Всего</i>	1657

* Гидратированный оксид алюминия, который в своем составе содержит «сверхстехиометрическую» воду.

Пример 2

Условие

Имеются следующие исходные реагенты:

1) активный гидроксид алюминия, содержание, мас. %: Al_2O_3 – 13; вода – остальное;

2) жидкое стекло, содержание, мас. %: SiO_2 – 20,3; Na_2O – 11,6; вода – остальное;

3) NaOH , раствор 1 М ($\rho = 1,045$ г/см³);

4) H_3PO_4 , концентрация 86,5 мас. %.

Необходимо получить гидрогель брутто-формулы $0,9\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,1\text{SiO}_2 \cdot 0,7\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 110\text{H}_2\text{O}$.

Рассчитайте, сколько и каких реагентов необходимо взять, чтобы получить 1 т гидрогеля указанного состава. Какое химическое количество H_2O будет в составе гидрогеля после смешения реагентов в заданных соотношениях? Надо ли дополнительно вводить воду? Напишите брутто-формулу и рассчитайте состав гидрогеля, мас. %. Составьте материальный баланс получения 1 т гидрогеля.

Решение

Рассчитаем массовую долю каждого из компонентов, входящих в состав геля, мас. %:

$$\omega_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{0,9 \cdot 62}{0,9 \cdot 62 + 102 + 2,1 \cdot 60 + 0,7 \cdot 142 + 110 \cdot 18} \cdot 100 = 2,36;$$

$$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{102}{0,9 \cdot 62 + 102 + 2,1 \cdot 60 + 0,7 \cdot 142 + 110 \cdot 18} \cdot 100 = 4,32;$$

$$\omega_{\text{SiO}_2} = \frac{2,1 \cdot 60}{0,9 \cdot 62 + 102 + 2,1 \cdot 60 + 0,7 \cdot 142 + 110 \cdot 18} \cdot 100 = 5,33;$$

$$\omega_{\text{P}_2\text{O}_5} = \frac{0,7 \cdot 142}{0,9 \cdot 62 + 102 + 2,1 \cdot 60 + 0,7 \cdot 142 + 110 \cdot 18} \cdot 100 = 4,21;$$

$$\omega_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{110 \cdot 18}{0,9 \cdot 62 + 102 + 2,1 \cdot 60 + 0,7 \cdot 142 + 110 \cdot 18} \cdot 100 = 83,79.$$

Исходя из 1 т данных компонентов, их масса составит, кг:

$$m_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{2,36}{100} \cdot 1000 = 23,6;$$

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{4,32}{100} \cdot 1000 = 43,2;$$

$$m_{\text{SiO}_2} = \frac{5,33}{100} \cdot 1000 = 53,3;$$

$$m_{\text{P}_2\text{O}_5} = \frac{4,21}{100} \cdot 1000 = 42,2;$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{83,79}{100} \cdot 1000 = 837,9.$$

Рассчитаем расход активного гидроксида алюминия, жидкого стекла и 86,5%-ной H_3PO_4 на получение геля, содержащего, кг: $\text{Al}_2\text{O}_3 - 43,2$; $\text{SiO}_2 - 53,3$; $\text{P}_2\text{O}_5 - 42,2$.

100 кг активного гидроксида алюминия содержит 13 кг Al_2O_3 :

$$P_{\text{актAl(OH)}_3} - 43,2 \text{ кг } \text{Al}_2\text{O}_3;$$

$$P_{\text{актAl(OH)}_3} = \frac{43,162}{0,13} = 332,0 \text{ кг.}$$

Аналогичным образом найдем $P_{\text{ж.ст.}}$, $P_{86,5\%-ной \text{H}_3\text{PO}_4}$:

$$P_{\text{ж.ст.}} = \frac{53,318}{0,203} = 262,7 \text{ кг;}$$

$$P_{86,5\%-ной \text{H}_3\text{PO}_4} = \frac{42,2062 \cdot 2 \cdot 98}{142 \cdot 0,865} = 67,3 \text{ кг.}$$

Рассчитаем, сколько воды вводится в систему с исходными реагентами, кг:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{исх.реаг}} = 332,0 \cdot 0,87 + 262,7 \cdot 0,681 + 67,3 \cdot 0,135 + \\ + \frac{67,3 \cdot 0,865 \cdot 1,5 \cdot 18}{98} = 492,9,$$

где $332,0 \cdot 0,87$ – вводится воды с активным гидроксидом алюминия; $262,7 \cdot 0,681$ – с жидким стеклом; $67,3 \cdot 0,135$ – с 86,5%-ной фосфорной кислотой; $67,3 \cdot 0,865 \cdot 1,5 \cdot 18 / 98$ – со 100%-ной фосфорной кислотой.

В пересчете на химическое количество получим, кмоль:

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{исх.реаг}} = \frac{492,9}{18} = 27,383.$$

Определим молярное соотношение $n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{исх.реаг}} / n_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ после смешения исходных реагентов. Для этого найдем химическое количество оксида алюминия, кмоль:

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{43,2}{102} = 0,4235.$$

Тогда молярное соотношение $n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{исх.реаг}} / n_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ составит

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{исх.реаг}} / n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{27,383}{0,4235} = 64,7.$$

В соответствии с условием задачи, на 1 кмоль Al_2O_3 должно приходиться 110 кмоль воды, тогда на 0,4235 кмоль потребуется воды, кмоль:

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\Sigma} = 0,4235 \cdot 110 = 46,585.$$

Количество воды, которое необходимо дополнительно ввести в систему, чтобы получить гель с молярным соотношением $n_{\text{H}_2\text{O}} / n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 110$, составит, кмоль:

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{доп}} = 46,585 - 27,383 = 19,202.$$

В пересчете на массу получим, кг:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{доп}} = 19,202 \cdot 18 = 345,6.$$

Определим молярное соотношение $\text{Na}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$ в смеси. С этой целью найдем число кмоль Na_2O , вводимое в систему с жидким стеклом. Массу оксида натрия, кг, найдем следующим образом:

$$m_{\text{Na}_2\text{O}} = 262,7 \cdot 0,116 = 30,47.$$

Число кмоль Na_2O составит

$$n_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{30,47}{62} = 0,4915.$$

Тогда молярное соотношение $\text{Na}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$ при смешении исходных реагентов соответствует

$$\frac{n_{\text{Na}_2\text{O}}}{n_{\text{Al}_2\text{O}_3}} = \frac{0,4915}{0,4235} = 1,161.$$

Поскольку данное соотношение превышает значение, указанное в условии задачи, то дополнительно вводить 1 М раствор NaOH не требуется. Данный реагент является лишним.

При смешении исходных реагентов общая масса геля составит, кг:

$$332,0 + 262,7 + 67,3 + 345 = 1007,0.$$

Тогда для получения 1 т геля потребуется активного гидроксида алюминия, жидкого стекла, 86,5%-ной H_3PO_4 и воды, кг:

$$P_{\text{акт. Al(OH)}_3} = \frac{332,0 \cdot 1000}{1007} = 329,7;$$

$$P_{\text{ж.ст}} = \frac{262,7 \cdot 1000}{1007} = 260,9;$$

$$P_{86,5\% \text{-ной } H_3PO_4} = \frac{67,3 \cdot 1000}{1007} = 66,8;$$

$$P_{H_2O}^{\text{доп}} = \frac{345,0 \cdot 1000}{1007} = 342,6.$$

Результаты расчета представлены в табл. 3 в виде материального баланса.

Таблица 3

Материальный баланс получения 1 т гидрогеля

Статья прихода	кг	мас. %	Статья расхода	кг	мас. %
1. Активный гидроксид алюминия			Гель $1,161Na_2O \cdot Al_2O_3 \times$ $\times 2,1SiO_2 \cdot 0,7P_2O_5 \times$ $\times 110H_2O$	1000,0	100,0
В том числе:	329,7	33,0			
Al_2O_3	42,9	4,3			
H_2O	286,8	28,7			
2. Жидкое стекло	260,9	26,1			
В том числе:					
Na_2O	30,3	3,0			
SiO_2	53,0	5,3			
H_2O	177,6	17,8			
3. 86,5%-ная H_3PO_4	66,8	6,7			
В том числе:					
H_2O	24,9	2,5			
P_2O_5	41,9	4,2			
4. H_2O дополнительная	342,6	34,3			
<i>Всего</i>	1000,0	100,0	<i>Всего</i>	1000,0	100,0

Пример 3

Условие

При гидролизе $FeOHNO_3$ в присутствии карбамида при температуре 95–100°C кристаллизуется гематит $\alpha-Fe_2O_3$. Гидросульфат железа

смешивают с водой при их массовом соотношении, равном 1 : 70, затем добавляют карбамид, избыток которого составляет 2,2. Степень гидролиза $\text{FeOHSO}_4 - 0,97$.

Напишите уравнения протекающих реакций.

Составьте материальный баланс получения 1 т гематита с учетом того, что гидроксосульфат железа получают прокалкой $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ при 200–250°C. Степень превращения $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в FeOHSO_4 составляет 96,7%.

Какие побочные продукты образуются при получении $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$?

Решение

Образование гидроксосульфата железа (III) из гептагидрата сульфата железа (II) происходит в результате протекания окислительно-восстановительной реакции согласно уравнению

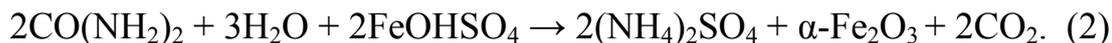


Гидролиз FeOHSO_4 осуществляют в водном растворе карбамида, который, в свою очередь, гидролизуясь, дает основание NH_4OH :



Процесс гидролиза осуществляют при 90–100°C с целью увеличения его скорости. В результате гидролиза повышается концентрация гидроксид-ионов и происходит гидролиз основной соли сульфата железа (III).

Суммарное уравнение реакции гидролиза гидроксосульфата железа (III) в присутствии карбамида можно представить следующим образом:



Рассчитаем, сколько кмоль составляет 1 т $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$:

$$n_{\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3} = \frac{1000}{160} = 6,25 \text{ кмоль},$$

где 160 – молярная масса $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, кг/кмоль.

Тогда для получения 1 т продукта потребуется FeOHSO_4 , кмоль:

$$n'_{\text{FeOHSO}_4} = 2 \cdot 6,25 = 12,5.$$

С учетом степени гидролиза

$$n_{\text{FeOHSO}_4} = \frac{12,5}{0,97} = 12,887 \text{ кмоль}.$$

В пересчете на массу получим, кг:

$$m_{\text{FeOHSO}_4} = 12,887 \cdot 169 = 2177,9,$$

где 169 – молярная масса FeOHSO_4 , кг/кмоль.

Остаточная масса FeOHSO_4 составит, кг:

$$\Delta m_{\text{FeOHSO}_4} = (12,887 - 12,5) \cdot 169 = 65,4.$$

Рассчитаем количество воды, необходимое для осуществления процесса гидролиза, по суммарному уравнению (2), кмоль:

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\Gamma} = 6,25 \cdot 3 = 18,75.$$

В пересчете на массу получим, кг:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\Gamma} = 18,75 \cdot 18 = 337,5.$$

Поскольку соотношение $\Gamma : \text{Ж}$ из условия задачи составляет 1 : 70, дополнительно потребуется добавить воды, кг:

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{доп}} = 2177,9 \cdot 70 - 337,5 = 152\,115,5.$$

Согласно стехиометрии (уравнение реакции (2)), для получения 1 т гематита потребуется карбамида, кмоль:

$$n_{\text{CO}(\text{NH}_2)_2} = 2 \cdot 6,25 = 12,5.$$

С учетом избытка химическое количество карбамида составит, кмоль:

$$n_{\text{CO}(\text{NH}_2)_2} = 12,5 \cdot 2,2 = 27,5.$$

В пересчете на массу получим, кг:

$$m_{\text{CO}(\text{NH}_2)_2} = 27,5 \cdot 60 = 1650,$$

где 60 – молярная масса карбамида, кг/кмоль.

Остаточная масса карбамида составляет, кг:

$$\Delta m_{\text{CO}(\text{NH}_2)_2} = (27,5 - 12,5) \cdot 60 = 900.$$

Сульфата аммония образуется, кмоль:

$$n_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = 2 \cdot 6,25 = 12,5.$$

В пересчете на массу получим, кг:

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = 12,5 \cdot 132 = 1650,$$

где 132 – молярная масса $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, кг/кмоль.

Оксида углерода образуется, кг:

$$m_{\text{CO}_2} = 12,5 \cdot 44 = 550,$$

где 44 – молярная масса CO_2 .

Результаты расчетов сведем в табл. 4.

Таблица 4

Материальный баланс получения 1 т $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ гидролизом FeOHSO_4

Статья прихода	кг	Статья расхода	кг
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	1 650,0	Суспензия	155 730,9
H_2O	152 453,0	В том числе:	
FeOHSO_4	2 177,9	а) твердая фаза	1 065,4
		В том числе:	
		$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	1 000,0
		FeOHSO_4	65,4
		б) жидкая фаза	154 665,5
		В том числе:	
		$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1 650,0
		$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	900,0
		H_2O	152 115,5
		CO_2	550,0
<i>Всего</i>	156 280,9	<i>Всего</i>	156 280,9

Рассчитаем расход $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и воздуха на получение 2177,9 кг FeOHSO_4 . Число кмоль $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ с учетом степени превращения составит

$$n_{\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} = \frac{12,887}{0,97} = 13,286.$$

Тогда массу гептагидрата сульфата железа (II) найдем следующим образом:

$$m_{\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} = 13,286 \cdot 278 = 3693,5 \text{ кг},$$

где 278 – молярная масса $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, кг/кмоль.

Остается непрореагировавшим $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, кг:

$$\Delta m_{\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} = (13,286 - 12,887) \cdot 278 = 110,9.$$

Необходимая для осуществления процесса масса кислорода, кг:

$$m_{\text{O}_2} = \frac{12,887}{2} \cdot 32 = 206,2,$$

где 32 – молярная масса O_2 .

Потребуется воздуха, кмоль:

$$n_{\text{воздуха}} = \frac{12,887}{2 \cdot 0,21} = 30,683,$$

где 0,21 – объемная доля кислорода в воздухе.

Химическое количество азота, кмоль, найдем следующим образом:

$$n_{\text{N}_2} = 30,683 - 12,887 = 17,796.$$

Масса воздуха составит, кг:

$$m_{\text{воздуха}} = 17,796 \cdot 28 + 206,2 = 704,5.$$

Количество воды, которое образуется в результате разложения соли по уравнению (1), составит, кг:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{13}{2} \cdot 12,887 \cdot 18 = 1507,8,$$

где 13 / 2 – стехиометрическое молярное соотношение образующейся воды к гидросульфату железа (III); 18 – молярная масса воды, кг/кмоль.

Результаты расчетов сведем в табл. 5.

Таблица 5

Материальный баланс разложения $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Статья прихода	кг	Статья расхода	кг
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3693,5	FeOHSO_4	2177,9
Воздух	704,5	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	110,9
В том числе:		$\text{H}_2\text{O}_{\text{пар}}$	1507,8
O_2	206,2	N_2	498,3
N_2	498,3		
<i>Всего</i>	4398,0	<i>Всего</i>	4294,9

4. ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Вариант 1

1. Теоретические основы процесса кристаллизации растворимых неорганических веществ. Механизм кристаллизации, скорость образования зародышей и роста кристаллов.

2. При взаимодействии нитрата алюминия, фосфорной кислоты (48 мас. %) и водного раствора аммиака (18 мас. %) образуется осадок, который после старения, фильтрации, отмывки и сушки до постоянной массы имеет следующий состав, мас. %: Al_2O_3 – 26,7; P_2O_5 – 47,1; H_2O – 26,2.

Напишите химические реакции, которые могут протекать в данной системе. Напишите брутто-формулу соединения в пересчете на 1 моль P_2O_5 .

Как определить фазовый состав данного соединения?

Рассчитайте расход исходных реагентов ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, H_3PO_4 (86,7 мас. %), 25%-ный водный раствор NH_3), если выход продукта составляет 97,5% (имеются технологические потери), а коэффициент избытка NH_3 – 1,1. Составьте материальный баланс процесса.

Вариант 2

1. Получение труднорастворимых соединений методами химического осаждения. Реакции, лежащие в основе получения гидратированных оксидов поливалентных металлов. Примеры процессов получения гидратированных оксидов металлов.

2. При взаимодействии жидкого стекла состава, мас. %: Na_2O – 10,4; SiO_2 – 30,6; H_2O – 59,0 с сульфатом алюминия образуется порошкообразный продукт, который имеет следующий состав, мас. %: Na_2O – 7,4; Al_2O_3 – 5,6; SiO_2 – 25,4; H_2O – 43,0; SO_3 – 18,6.

Составьте брутто-формулу продукта в пересчете на 1 моль Na_2O . Напишите уравнения реакций, которые могут протекать в данной системе.

Составьте материальный баланс получения 1 т порошка заданного состава, если используют 1 М раствор $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ($\rho = 1,11 \text{ г/см}^3$). В случае если в системе содержание H_2O не соответствует приведенному составу, скорректируйте брутто-формулу образующегося продукта. Расчет баланса вести исходя из состава продукта. Исходный сульфат алюминия имеет состав $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

Вариант 3

1. Система свежесоздаденный осадок – жидкая фаза. Физическое и химическое старение осадка при контакте с жидкой фазой. Примеры процессов старения.

2. При взаимодействии жидкого стекла состава, мас. %: $\text{Na}_2\text{O} - 12,5$; $\text{SiO}_2 - 33,9$; $\text{H}_2\text{O} - 53,6$ с раствором ортофосфорной кислоты образуется порошкообразный продукт следующего состава, мас. %: $\text{Na}_2\text{O} - 9,8$; $\text{P}_2\text{O}_5 - 12,0$; $\text{SiO}_2 - 22,8$; $\text{H}_2\text{O} - 50,2$.

Запишите брутто-формулу продукта в пересчете на 1 моль P_2O_5 .

Напишите уравнения реакций, протекающих в данной системе.

Рассчитайте, сколько свободной H_2O будет содержаться в порошкообразном продукте, если часть H_2O , поступающей в систему, расходуется на образование $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Составьте материальный баланс получения 1 т порошка, если используется 80,0 мас. %-ная H_3PO_4 . Расчет баланса вести исходя из состава образующегося продукта.

Вариант 4

1. Закономерности осаждения и образования труднорастворимых осадков с заданным химическим и фазовым составом.

2. При взаимодействии жидкого стекла состава, мас. %: $\text{Na}_2\text{O} - 11,0$; $\text{SiO}_2 - 31,5$; $\text{H}_2\text{O} - 57,5$ с раствором сульфата алюминия и ортофосфорной кислотой образуется порошкообразный продукт следующего состава, мас. %: $\text{Na}_2\text{O} - 7,1$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 3,9$; $\text{P}_2\text{O}_5 - 9,7$; $\text{SiO}_2 - 26,7$; $\text{H}_2\text{O} - 52,6$.

Составьте брутто-формулу данного соединения.

Какие реакции могут протекать при взаимодействии данных реагентов?

Рассчитайте материальный баланс получения 1 т порошка, имеющего химический состав в соответствии с рассчитанной брутто-формулой, если в процессе используется 1 М раствор $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ($\rho = 1,11 \text{ г/см}^3$) и 75%-ная H_3PO_4 .

Рассчитайте содержание H_2O в порошкообразном продукте и напишите конечную брутто-формулу. Расчет баланса вести исходя из состава продукта.

Исходные реагенты: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$; H_3PO_4 (86,5 мас. %).

Вариант 5

1. Охарактеризуйте способы получения оксидов поливалентных металлов. Приведите примеры.

2. При взаимодействии 1 М раствора сульфата железа (III) ($\rho = 1,17 \text{ г/см}^3$) с водным раствором аммиака, содержащим 25 мас. % NH_3 , образуются осадок и жидкая фаза. Аммиак подают с избытком 1,5 от теоретического. Результаты химического анализа осадка после его старения, отделения от жидкой фазы, промывки и сушки следующие, мас. %: $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 84,7$; $\text{H}_2\text{O} - 12,9$; $\text{SO}_3 - 2,4$.

Напишите состав осадка в виде брутто-формулы в пересчете на 1 моль Fe_2O_3 . Какие реакции могут протекать при взаимодействии данных реагентов?

Рассчитайте степень гидролиза сульфата железа.

Составьте материальный баланс получения 1 т продукта заданного состава, учитывая, что выход продукта составляет 98,2% (имеются технологические потери), исходная соль железа имеет состав $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Влажность осадка после фильтрации – 78,8 мас. %.

Вариант 6

1. Классификация и характеристика способов химического осаждения труднорастворимых соединений.

2. При взаимодействии нитрата хрома с раствором NaOH образуется темно-зеленый осадок. После старения, отделения от жидкой фазы, промывки и сушки состав продукта описывается брутто-формулой $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 3,7\text{H}_2\text{O} \cdot x\text{NO}_2$.

Для осаждения полигидрата хрома использовали 1 М раствор $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ($\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$), 2 М раствор NaOH ($\rho = 1,085 \text{ г/см}^3$). Коэффициент избытка раствора гидроксида натрия – 1,25.

Рассчитайте содержание продуктов гидролиза в осадке, мас. %, если степень гидролиза нитрата хрома составляет 98,5%.

Какой продукт неполного гидролиза соли хрома может содержаться в осадке?

Напишите уравнения реакций, протекающих в данной системе.

Составьте материальный баланс получения 1 т полигидрата оксида хрома указанного состава, если в качестве исходных реагентов использовали $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и кристаллический NaOH .

Вариант 7

1. Гетерогенные способы химического осаждения труднорастворимых соединений и их характеристика.

2. Оксид алюминия получают при температуре 700°C дегидратацией псевдобемита AlOOH , получаемого химическим осаждением в системе $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 - \text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$.

Составьте материальный баланс процесса получения 1 т Al_2O_3 , если исходными реагентами являются $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 25%-ный раствор аммиака. Для осаждения используют 0,5 М раствор $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ($\rho = 1,13 \text{ г/см}^3$), водный раствор аммиака, содержащий 13,0 мас. % NH_3 . Коэффициент избытка NH_3 – 1,5.

Степень гидролиза нитрата алюминия при химическом осаждении и старении достигает 97,7%. Влажность осадка после фильтрации – 80,3 мас. %.

Вариант 8

1. Гомогенный способ химического осаждения труднорастворимых соединений. Примеры гомогенного осаждения.

2. Оксид хрома получают термообработкой рентгеноаморфного осадка, образующегося в результате взаимодействия 1 М раствора нитрата хрома ($\rho = 1,145 \text{ г/см}^3$) с газообразным NH_3 (содержание NH_3 – 85 об. %, инертные газы – остальное). Осаждение проводят в слабощелочной среде (рН 7,5). Брутто-состав осадка после отделения от жидкой фазы, промывки, сушки следующий: $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 4,2\text{H}_2\text{O}$.

Рассчитайте состав осадка, мас. %.

Напишите уравнения реакций, составьте материальный баланс получения 1 т Cr_2O_3 , если влажность осадка после отмывки и фильтрации составляет 82,3 мас. %.

Вариант 9

1. Гидротермальный синтез неорганических соединений. Примеры получения неорганических соединений в гидротермальных условиях.

2. Для получения гидратированного оксида алюминия состава $\text{AlOOH} \cdot 1,25\text{H}_2\text{O}$ используют нитрат алюминия $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, водный раствор аммиака (25,0 мас. %).

Условия осаждения: 1 М раствор соли алюминия; содержание NH_3 в водном растворе аммиака 12,0 мас. %; значение рН осаждения – 9,5; избыток осадителя – 1,7. Стадии получения: химическое осаждение, старение осадка, фильтрация, отмывка, сушка. Выход продукта составляет 96,8% (имеются технологические потери).

Напишите уравнения реакций и охарактеризуйте процессы, протекающие на всех стадиях. Составьте материальный баланс получения 1 т оксигидроксида алюминия.

Вариант 10

1. Сравнительный анализ способов химического осаждения, их преимущества и недостатки.

2. Для получения оксигидроксида хрома используют сульфат хрома $\text{Cr}(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и NaOH . Условия осаждения: значение pH среды – 9,0; концентрация раствора сульфата хрома – 0,5 М, раствора гидроксида натрия – 1,5 М; избыток осадителя – 1,4. При этом образуется рентгеноаморфный осадок, который имеет следующий состав: $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 4,3\text{H}_2\text{O} \cdot 0,18\text{SO}_3$.

При гидротермальном старении осадка в маточном растворе происходит дальнейший гидролиз соли хрома и кристаллизация оксигидроксида хрома CrOОН .

Рассчитайте материальный баланс процессов осаждения и старения исходя из 1 т $\text{Cr}(\text{SO}_4)_3$.

Вариант 11

1. Химическое загрязнение осадков. Типы соосаждения примесей: адсорбция, окклюзия.

2. Оксид хрома получают термообработкой рентгеноаморфного осадка, образующегося в результате взаимодействия 1 М раствора нитрата хрома ($\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$) с газообразным NH_3 (содержание NH_3 – 85 об. %, остальное – инертные газы).

Осаждение проводят в слабощелочной среде (pH 8,0–8,5). Брутто-состав осадка после старения и отделения от жидкой фазы, промывки, сушки следующий: $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 4,2\text{H}_2\text{O} \cdot 0,01\text{NO}_2$.

Рассчитайте состав осадка, мас. %, и расход реагентов для получения 1 т продукта состава $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 4,2\text{H}_2\text{O} \cdot 0,01\text{NO}_2$.

Напишите уравнения реакций, обоснуйте технологические стадии, необходимые для получения Cr_2O_3 .

Составьте материальный баланс процесса получения Cr_2O_3 из 1 т $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 4,2\text{H}_2\text{O} \cdot 0,01\text{NO}_2$.

Вариант 12

1. Какие недостатки характерны для периодического способа осаждения труднорастворимых осадков? Приведите примеры.

2. Оксид алюминия получают при температуре 650°C дегидратацией псевдобемита AlOОН , образующегося при химическом осаждении и старении в системе $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 - \text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$.

Составьте материальный баланс процесса получения 1 т Al_2O_3 , если в качестве исходных реагентов используют 1 М раствор $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ($\rho = 1,12 \text{ г/см}^3$), водный раствор аммиака, содержащий 16,0 мас. % NH_3 . Коэффициент избытка NH_3 – 1,5. Выход Al_2O_3 составляет 96,6 мас. % (имеются технологические потери). Влажность осадка после фильтрации и отмывки – 67,7 мас. %.

Исходные реагенты: $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, раствор аммиака (25 мас. %).

Вариант 13

1. Скорость зародышеобразования и роста частиц при химическом осаждении труднорастворимых осадков.

2. При взаимодействии нитрата хрома с раствором NaOH образуется темно-зеленый осадок. После старения, отделения от жидкой фазы, промывки и сушки состав продукта описывается брутто-формулой $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 3,7\text{H}_2\text{O}$.

Для осаждения полигидрата оксида хрома использовали 1 М раствор $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ($\rho = 1,17 \text{ г/см}^3$), 2 М раствор NaOH ($\rho = 1,085 \text{ г/см}^3$). Коэффициент избытка гидроксида натрия – 1,25.

Напишите возможные уравнения реакций.

Рассчитайте содержание компонентов в продукте, мас. %.

Составьте материальный баланс процесса получения 1 т полигидрата оксида хрома указанного состава, содержащий дополнительно 1,5 мас. % нитрат-ионов. Рассчитайте степень гидролиза соли хрома.

Исходные реагенты: $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, кристаллический NaOH .

Вариант 14

1. Периодические способы химического осаждения и их характеристика. Приведите примеры осуществления данных способов осаждения.

2. При гидролизе FeOHSO_4 в присутствии карбамида при нагревании кристаллизуется гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Избыток карбамида составляет 2,1. Массовое соотношение $\text{FeOH}\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}$ при загрузке составляет 1 : 55.

Составьте материальный баланс получения 1 т гематита с учетом того, что гидросульфат железа получают прокалкой при $200\text{--}250^\circ\text{C}$ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Степень превращения $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в FeOHSO_4 составляет 96,7 мас. %. Коэффициент избытка воздуха – 1,5.

Напишите уравнения реакций.

Вариант 15

1. Непрерывные способы химического осаждения и их характеристика. Приведите примеры осуществления данных способов.

2. При взаимодействии MgCl_2 с водным раствором NH_4OH образуется осадок, который после старения, фильтрации, отмывки и сушки имеет следующий состав, мас. %: MgO – 61,3; H_2O – 38; CO_2 – 0,6.

Составьте брутто-формулу продукта в пересчете на 1 моль MgO.

Охарактеризуйте процессы, протекающие в системе, напишите уравнения реакций.

Составьте материальный баланс получения 1 т осадка, имеющего химический состав в соответствии с рассчитанной брутто-формулой, если используют 0,5 М раствор $MgCl_2$, приготовленный из $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ($\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$), и 25%-ный раствор NH_4OH . Коэффициент избытка аммиака – 1,7 от стехиометрии. Выход продукта составляет 95,9% (имеются технологические потери). Влажность осадка после фильтра – 71,7 мас. %. Содержание CO_2 в воде, используемой для приготовления раствора, – 0,09 мас. %.

Вариант 16

1. Приведите примеры процессов химического осаждения в системе *раствор – газ*. Охарактеризуйте достоинства и недостатки данного метода осаждения.

2. Имеются следующие исходные реагенты:

– сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$;

– фосфат натрия $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$;

– золь SiO_2 , содержание H_2O – 84,6 мас. %;

– активный гидроксид галлия, содержание основного вещества Ga_2O_3 – 13,5 мас. %, остальное – вода.

Необходимо получить гидрогель брутто-формулы $Al_2O_3 \cdot 0,7P_2O_5 \cdot 0,3SiO_2 \cdot 0,5Ga_2O_3 \cdot 90H_2O$.

Рассчитайте расход реагентов, необходимых для получения 1 т гидрогеля заданного состава. Какое химическое количество H_2O , оксидов алюминия, фосфора, кремния и галлия будет в составе гидрогеля после смешения реагентов в заданных соотношениях? Надо ли дополнительно вводить воду?

Напишите брутто-формулу и рассчитайте состав геля, мас. %. Составьте материальный баланс получения 1 т геля.

Вариант 17

1. Напишите и охарактеризуйте реакции, лежащие в основе процессов получения гидратированных оксидов металлов, в частности алюминия, железа, хрома в системах *раствор – раствор*, *раствор – газ*.

2. При смешении жидкого стекла (Na_2O – 11,2 мас. %, SiO_2 – 27,3 мас. %) с 73%-ной H_3PO_4 при молярном соотношении $Na_2O : P_2O_5$, равном 2,3, образуется порошок, содержащий $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ и 20 мас. % свободной воды. Сколько потребуется кальцинированной соды

для смешения 1 т влажного порошка, чтобы образовался $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, а свободная вода связалась с содой с образованием $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Степень превращения гидрофосфата в ортофосфат составляет 45%.

Напишите уравнения реакций, составьте материальный баланс получения порошка.

Вариант 18

1. Охарактеризуйте процессы физического и химического старения свежееосажденного осадка, полученного при взаимодействии нитрата алюминия с гидроксидом аммония при значении pH 9,0–9,5.

2. Имеются следующие исходные реагенты:

– силикат натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;

– псевдобемит $\text{AlOOH} \cdot 1,2\text{H}_2\text{O}$;

– $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Необходимо получить гидрогель брутто-формулы $1,1\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,9\text{SiO}_2 \cdot 0,1\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 140\text{H}_2\text{O}$.

Рассчитайте расход реагентов, необходимых для получения 1 т гидрогеля заданного состава. Какое химическое количество H_2O , оксидов натрия, алюминия, кремния и фосфора будет в составе гидрогеля после смешения реагентов в заданных соотношениях? Надо ли дополнительно вводить воду?

Напишите брутто-формулу и рассчитайте состав гидрогеля, мас. %. Составьте материальный баланс получения 1 т гидрогеля.

Вариант 19

1. Нанодисперсные системы. Методы синтеза наночастиц.

2. Имеются следующие исходные реагенты:

– кристаллический NaOH , для получения геля используют 1 М раствор ($\rho = 1,045 \text{ г/см}^3$);

– сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;

– силикат натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Необходимо получить гидрогель брутто-формулы $1,3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,9\text{SiO}_2 \cdot 90\text{H}_2\text{O}$.

Рассчитайте расход реагентов, необходимых для получения 1 т гидрогеля заданного состава. Какое химическое количество H_2O , оксидов натрия, алюминия и кремния будет в составе гидрогеля после смешения реагентов в заданных соотношениях? Надо ли дополнительно вводить воду?

Напишите брутто-формулу и рассчитайте состав гидрогеля, мас. %. Составьте материальный баланс получения 1 т гидрогеля.

Вариант 20

1. Золь-гель технология и ее особенности.

2. Имеются следующие исходные реагенты:

– фосфат натрия $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;

– NaOH кристаллический, для получения геля используется 1,5 М раствор ($\rho = 1,07 \text{ г/см}^3$);

– активный гидроксил алюминия с влажностью 40 мас. %;

– жидкое стекло, содержание, мас. %: $\text{SiO}_2 - 22,5$; $\text{Na}_2\text{O} - 10,6$; вода – остальное.

Необходимо получить гидрогель брутто-формулы $1,7\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,5\text{SiO}_2 \cdot 0,5\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 140\text{H}_2\text{O}$.

Рассчитайте расход реагентов, необходимых для получения 1 т гидрогеля заданного состава. Какое химическое количество H_2O , оксидов натрия, алюминия, кремния и фосфора будет в составе гидрогеля после смешения реагентов в заданных соотношениях? Надо ли дополнительно вводить воду?

Напишите брутто-формулу и рассчитайте состав гидрогеля, мас. %. Составьте материальный баланс получения 1 т гидрогеля.

Вариант 21

1. Физико-химические основы получения нанодисперсных систем.

2. Имеются следующие исходные реагенты:

– силикат натрия брутто-состава $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$;

– сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, используется в виде 1 М раствора ($\rho = 1,11 \text{ г/см}^3$);

– $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;

– H_3PO_4 , концентрация 81,9 мас. %;

– NaOH кристаллический.

Необходимо получить гидрогель брутто-формулы $2,3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3,0\text{SiO}_2 \cdot 0,7\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 90\text{H}_2\text{O}$.

Какие реагенты необходимы для получения геля?

Рассчитайте расход реагентов, необходимых для получения 1 т гидрогеля заданного состава. Какое химическое количество H_2O , оксидов натрия, алюминия, кремния и фосфора будет в составе гидрогеля после смешения реагентов в заданных соотношениях? Надо ли дополнительно вводить воду?

Напишите брутто-формулу и рассчитайте состав гидрогеля, мас. %. Составьте материальный баланс получения 1 т гидрогеля.

Вариант 22

1. Какие технологические стадии и их параметры влияют на скорость химического осаждения, определяют химический, фазовый состав осадков и их дисперсность. Приведите примеры.

2. Имеются следующие исходные реагенты:

- H_3PO_4 ;
- фосфат натрия $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$;
- NaOH , 1 М раствор ($\rho = 1,045 \text{ г/см}^3$);
- $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
- силикат натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Необходимо получить гидрогель брутто-формулы $1,9\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,7\text{SiO}_2 \cdot 0,6\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 0,3\text{NiO} \cdot 140\text{H}_2\text{O}$.

Какие реагенты необходимы для получения геля? Рассчитайте их расход для получения 1 т гидрогеля заданного состава. Какое химическое количество H_2O , оксидов натрия, алюминия, кремния, фосфора и никеля будет в составе гидрогеля после смешения реагентов в заданных соотношениях? Надо ли дополнительно вводить воду?

Напишите брутто-формулу и рассчитайте состав гидрогеля, мас. %. Составьте материальный баланс получения 1 т гидрогеля.

Вариант 23

1. Как идентифицировать химический, фазовый состав, дисперсность синтезированного соединения? Приведите примеры.

2. Имеются следующие исходные реагенты:

- H_3PO_4 ;
- нитрат алюминия $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$;
- фосфат натрия $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- оксигидроксид железа $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot 0,2\text{H}_2\text{O}$;
- жидкое стекло, содержание, мас. %: SiO_2 – 20,3; Na_2O – 13,3; вода – остальное.

Необходимо получить гидрогель брутто-формулы $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,9\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 0,7\text{SiO}_2 \cdot 0,1\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 90\text{H}_2\text{O}$.

Какие реагенты необходимы для получения геля? Рассчитайте их расход для получения 1 т гидрогеля заданного состава. Какое химическое количество H_2O , оксидов алюминия, фосфора, кремния и железа будет в составе гидрогеля после смешения реагентов в заданных соотношениях? Надо ли дополнительно вводить воду?

Напишите брутто-формулу и рассчитайте состав гидрогеля, мас. %. Составьте материальный баланс получения 1 т гидрогеля.

Вариант 24

1. Полунепрерывный способ химического осаждения. Приведите примеры осуществления полунепрерывного способа химического осаждения. Какие особенности характерны для данного способа осаждения?

2. Имеются следующие исходные реагенты:

– сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, используется в виде 1 М раствора ($\rho = 1,11 \text{ г/см}^3$);

– $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;

– активный гидроксид галлия, содержание основного вещества Ga_2O_3 – 14,7 мас. %, вода – остальное;

– золь SiO_2 с содержанием SiO_2 16 мас. %.

Необходимо получить гидрогель брутто-формулы $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 0,3\text{Ga}_2\text{O}_3 \cdot 0,7\text{SiO}_2 \cdot 90\text{H}_2\text{O}$.

Рассчитайте расход реагентов, необходимых для получения 1 т гидрогеля заданного состава. Какое химическое количество H_2O , оксидов алюминия, фосфора, галлия и кремния будет в составе гидрогеля после смешения реагентов в заданных соотношениях? Надо ли дополнительно вводить воду?

Напишите брутто-формулу и рассчитайте состав гидрогеля, мас. %. Составьте материальный баланс получения 1 т гидрогеля.

Вариант 25

1. Охарактеризуйте зависимость размера частиц осадка от способа и условий его осаждения.

2. Имеются следующие исходные реагенты:

– $\text{AlOON} \cdot 0,7\text{H}_2\text{O}$;

– K_2CO_3 ;

– силикат натрия $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;

– $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Необходимо получить гидрогель брутто-формулы $1,7\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3,0\text{SiO}_2 \cdot 0,3\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 90\text{H}_2\text{O}$.

Рассчитайте расход реагентов, необходимых для получения 1 т гидрогеля заданного состава. Какое химическое количество H_2O , оксидов калия, алюминия, кремния и фосфора будет в составе гидрогеля после смешения реагентов в заданных соотношениях? Надо ли дополнительно вводить воду?

Напишите брутто-формулу и рассчитайте состав гидрогеля, мас. %. Составьте материальный баланс получения 1 т гидрогеля.

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Хамский, Е. В. Кристаллизация в химической промышленности / Е. В. Хамский. – М.: Химия, 1979. – 342 с.
2. Хамский, Е. В. Кристаллические вещества и продукты. Методы оценки и совершенствования / Е. В. Хамский. – М.: Химия, 1986. – 224 с.
3. Вассерман, И. М. Химическое осаждение из растворов / И. М. Вассерман. – Л.: Химия, 1980. – 204 с.
4. Баррер, Р. Гидротермальная химия цеолитов / Р. Баррер. – М.: Мир, 1985. – 414 с.
5. Шабанова, Н. А. Химия и технология нанодисперсных оксидов / Н. А. Шабанова, В. В. Попов, П. Д. Саркисов. – М.: Академкнига, 2006. – 309 с.
6. Шабанова, Н. А. Основы золь-гель технологии наноразмерного кремнезема / Н. А. Шабанова, П. Д. Саркисов. – М.: Академкнига, 2004. – 199 с.
7. Химическая технология неорганических веществ: в 2 кн. / Т. Г. Ахметов [и др.]. – М.: Высшая школа, 2002. – Кн. 1. – 688 с.
8. Химическая технология неорганических веществ: в 2 кн. / Т. Г. Ахметов [и др.]. – М.: Высшая школа, 2002. – Кн. 2. – 533 с.
9. Общая и неорганическая химия / И. М. Жарский [и др.]. – Минск: БГТУ, 2008. – 160 с.
10. Ещенко, Л. С. Общая химическая технология. Расчеты химико-технологических процессов / Л. С. Ещенко, В. А. Салоников. – Минск: БГТУ, 2008. – 208 с.
11. Свойства и методы идентификации веществ в неорганической технологии / И. М. Жарский [и др.]. – Минск: Фонд фундаментальных исследований, 1996. – 372 с.
12. Мелихов, И. В. Физико-химическая эволюция твердого вещества / И. В. Мелихов. – М.: БИНОМ Лаборатория знаний, 2006. – 270 с.
13. Вест, А. Химия твердого тела. Теория и приложения: в 2 ч. / А. Вест. – М.: Мир, 1988. – Ч. 1. – 324 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

14. Алесковский, В. Б. Химия твердых веществ / В. Б. Алесковский. – М.: Высшая школа, 1978. – 252 с.
15. Макагун, В. Н. Химия неорганических гидратов / В. Н. Макагун. – Минск: Наука и техника, 1985. – 206 с.
16. Щегров, Л. Н. Фосфаты двухвалентных металлов / Л. Н. Щегров. – Киев: Наукова думка, 1987. – 217 с.
17. Атлас инфракрасных спектров фосфатов. Ортофосфаты / В. В. Печковский [и др.]. – М.: Наука, 1981. – 248 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Введение.....	5
1. Программа курса	6
2. Вопросы для самоконтроля знаний.....	9
3. Методические указания по выполнению контрольной работы ...	11
3.1. Общие указания	11
3.2. Примеры выполнения расчетов по практическому заданию	12
4. Задания к контрольной работе.....	24
Литература	35

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ТОНКОГО НЕОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Составитель **Ещенко** Людмила Семеновна

Редактор *Ю. А. Ирхина*
Компьютерная верстка *Ю. А. Ирхина*
Корректор *Ю. А. Ирхина*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.

ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.