

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологии стекла и керамики

Химическая технология стекла и ситаллов

**Программа, методические указания
и контрольные задания для студентов
специальности 1-48 01 01 «Химическая технология
неорганических веществ, материалов и изделий»
специализации 1-48 01 06 «Технология стекла
и ситаллов» заочной формы обучения**

Минск 2007

УДК 666.11 (075.4)
ББК 35.41
Х 46

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составитель
кандидат технических наук, доцент *Л. Ф. Панко*

Рецензент
кандидат технических наук, доцент *А. А. Сакович*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2007 год. Поз. 148.

Для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации
1-48 01 06 «Технология стекла и ситаллов» заочной формы обучения.

© УО «Белорусский государственный

технологический университет», 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью дисциплины «Химическая технология стекла и ситаллов» является создание у студентов базы знаний по теоретическим основам стеклообразования, строению стеклообразных веществ, теории фазового разделения, технологическим и физическим свойствам стекол, влиянию различных факторов на свойства стекол, основам стекловарения, формования и обработки стекла, основам получения ситаллов.

Изучение дисциплины «Химическая технология стекла и ситаллов» направлено на создание фундаментальной базы углубленной подготовки по специализации.

В результате изучения дисциплины студенты должны знать основы теории строения стекол с различными стеклообразователями; теоретические основы фазового разделения в стеклах – ликвации, кристаллизации; характеристики технологических и физико-химических свойств стекол; влияние оксидов на свойства стекол; основные и вспомогательные сырьевые материалы для синтеза стекол и требования к ним; основы управления процессами стекловарения; методы формования стекла; методы механической, термической и химической обработки стекла; теоретические основы ситаллообразования.

Студент должен изучить методику расчета шихты по заданному составу стекла; методику прогнозирования свойств стекол по химическому составу; принципы анализа технологических процессов, выбора сырьевых материалов и основных технологических параметров при синтезе стекол; технологические основы синтеза ситаллов и навыки прогнозирования их фазового состава и свойств. На основе изучения учебной литературы, рекомендуемой по программе курса, данных научно-технической и нормативно-технической документации (стандартов, технических условий, технологических регламентов) студент должен овладеть навыками составления рациональной технологической схемы производства стеклоизделий.

В соответствии с учебным планом студент обязан:

- 1) выполнить и защитить контрольную работу (9-й семестр);
- 2) выполнить лабораторный практикум (9-й и 10-й семестр);
- 3) выполнить и защитить курсовую работу (10-й семестр);

4) сдать экзамен по программе курса (10-й семестр).

1. ПРОГРАММА КУРСА

Введение

История развития стекольного дела. Этапы развития стеклотехники. Стекольная промышленность Республики Беларусь и перспективы ее развития.

1.1. Теоретические основы стеклообразования и строения стекла

Стеклообразное состояние. Определение стекла. Классификация стекол по химическому составу. Характеристика различных типов стекол. Общие свойства веществ в стеклообразном состоянии. Понятие о температурном интервале стеклования. Влияние скорости охлаждения расплава на свойства стекол. Кинетика стеклования. Понятие о фиктивном равновесии. Расчет времени релаксации. Термическое последствие.

Координационное состояние ионов кремния в силикатном стекле. Строение основной структурной группы. Соединение кремнекислородных групп друг с другом. Понятие о непрерывной беспорядочной структурной сетке. Склонность оксидов к стеклообразованию.

Строение кварцевого стекла. Различия в структурах кристаллического и стеклообразного кремнезема.

Строение щелочно-силикатных стекол. Изменение структуры и свойств стекол при введении щелочных оксидов. Расположение щелочных катионов в структуре стекла. Понятие о мостиковых и немостиковых кислородных ионах. Структурные параметры Стевелса и их расчет по химическому составу стекла. Фактор связности структуры, влияние этого показателя на свойства стекол.

Строение щелочно-алюмосиликатных стекол. Координационное состояние ионов алюминия в стекле и способы его встраивания в кремнекислородную структурную сетку стекла. Изменение роли щелочных ионов в присутствии оксида алюминия. Условия перехода алюминия в 4-координированное состояние.

Строение боратных и щелочно-боратных стекол. Координационное состояние бора и влияние его на свойства щелочно-боратных стекол. Строение щелочно-алюмоборосиликатных стекол. Оценка

координационного состояния алюминия и бора по составу стекла. Аллюоборный эффект.

1.2. Фазовое разделение в стеклах

Кристаллизация стекол. Гомогенное зародышеобразование. Понятие о критическом радиусе зародыша. Спонтанная кристаллизация. Кривые Таммана. Гетерогенная кристаллизация. Поверхностная и объемная кристаллизация. Кристаллизация стекол и расплавов. Параметры, определяющие кристаллизационную способность стекол.

Ликвация в расплавах и стеклах. Термодинамические основы ликвационных явлений. Бинодальный и спинодальный механизмы ликвации. Стабильная и метастабильная ликвация. Формы проявления ликвации. Общая схема фазового разделения в стеклах.

1.3. Технологические свойства стекол

Вязкость стекол. Динамическая и кинематическая вязкость. Температурная зависимость вязкости. Уравнение Френкеля-Андраде. Нормальные и структурированные жидкости. Технологическая шкала вязкости. Влияние химического состава стекол на вязкость силикатных стекол. Методы расчета вязкости.

Поверхностное натяжение расплавов и стекол. Влияние температуры. Действие сил поверхностного натяжения на различных стадиях технологического процесса. Поверхностно-неактивные и поверхностно-активные оксиды. Смачивающая способность. Краевой угол смачивания.

Плотность стекол и молярный объем. Влияние состава на плотность стекол. Расчет молярной массы стекла по химическому составу.

1.4. Физико-химические свойства стекол

Механическая прочность стекол. Теоретическая и техническая (реальная) прочность. Теория прочности Гриффитса.

Механизм разрушения стекла. Коэффициент интенсивности напряжений. Статистическая теория прочности. Распределение значений прочности при различном состоянии поверхности листового стекла. Влияние длительности нагружения на прочность стекла.

Масштабный фактор. Конструкционная прочность. Влияние химического состава и температуры. Методы упрочнения стекла. Травление поверхности. Ионный обмен. Закалка стекла.

Упругость стекол. Модуль Юнга. Пределы изменения модуля упругости силикатных стекол. Закаленные и отожженные стекла. Твердость стекол. Методы определения твердости. Микротвердость. Хрупкость стекол. Диаграмма деформации хрупкого и пластичного материала. Ударная вязкость.

Теплофизические свойства стекол. Термическое расширение. Зависимость удлинения стекла от температуры. Влияние состава стекла на температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР). Термостойкость стекол. Коэффициент термостойкости. Деление стекол на классы по термостойкости. Теплоемкость. Влияние химического состава на теплоемкость. Теплопроводность. Влияние химического состава на теплопроводность.

Электрические свойства стекол. Электропроводность. Носители тока в силикатных стеклах. Температурная зависимость электропроводности. Влияние химического состава на электропроводность. Полищелочной эффект. Поверхностная проводимость. Диэлектрическая проницаемость. Три вида поляризации. Абсолютная и относительная диэлектрическая проницаемость. Диэлектрические потери. Виды потерь. Влияние частоты электрического поля. Электрическая прочность. Пробивное напряжение.

Оптические свойства стекол. Оптические постоянные и оптические характеристики. Показатель преломления и дисперсия. Средние, частные и относительные дисперсии. Кроны и флинты. Диаграмма Аббе. Температурная зависимость показателя преломления. Аберрация оптических систем. Отражение. Связь коэффициента отражения с показателем преломления. Просветление оптики. Зеркальное отражение. Явление полного внутреннего отражения. Поворотные призмы и световоды. Волоконная оптика. Диффузное отражение. Глушение стекол. Поглощение и пропускание. Спектры собственного поглощения. Граничное условие прозрачности. Спектры поглощения окрашенных стекол. Три группы красителей. Спектры люминесценции.

Химическая устойчивость стекол. Деление реагентов на две группы, механизм их действия. Методы определения кислото- и

щелочестойкости. Гидролитические классы. Влияние химического состава стекол на их химическую устойчивость.

Влияние оксидов на свойства стекол. Кремнезем и его влияние на свойства стекол. Парциальные свойства кремнезема. Оксиды щелочных металлов. Влияние на свойства силикатных стекол. Парциальные свойства оксидов щелочных металлов в двойных и тройных системах. Оксиды щелочноземельных металлов. Сравнительная характеристика оксидов магния, кальция, бария. Оксиды двухвалентных металлов побочных групп. Оксиды элементов III–V групп. Оксид алюминия и его влияние на свойства силикатных стекол. Оксид бора в силикатном стекле. Совместное присутствие B_2O_3 и Al_2O_3 . Диоксиды циркония и титана. Координационные эффекты в стеклах. Фосфорный ангидрид. Глушение стекол в присутствии P_2O_5 .

1.5. Сырьевые материалы для варки стекла и их подготовка

Кислотные оксиды. Сырье для введения кремнезема – природное и синтетическое. Требования к кварцевым пескам по содержанию красящих примесей, по постоянству состава, дисперсности.

Сырье для ввода Na_2O , K_2O и Li_2O . Требования к сырью. Сырье для ввода MgO , CaO , BaO , ZnO , PbO . Природное сырье и химические реактивы. Требования к сырьевым материалам. Сырье для ввода ZrO_2 и TiO_2 . Сырье для ввода борного ангидрида, оксида фосфора, оксида алюминия.

Вспомогательные материалы. Сырьевые материалы для ввода ионных красителей: соединений марганца, железа, кобальта, меди, хрома, никеля, редкоземельных металлов. Сырье для ввода молекулярных и коллоидных красителей. Сырьевые материалы для ввода глушителей, осветлителей, ускорителей, обесцвечивателей, окислителей и восстановителей.

Технологические схемы обработки кварцевого песка, мела, доломита, извести и других компонентов шихты.

Расчет и составление шихты. Применение метода уравнений для расчета состава шихты. Требования к шихте. Дозировка компонентов и смешение шихты. Технологическая схема приготовления шихты.

Дополнительные приемы подготовки шихты. Гранулирование шихты и его эффективность. Получение синтетической шихты.

1.6. Стекловарение

Этапы стекловарения и их характеристика. Силикатообразование. Процессы силикатообразования в пятикомпонентной шихте. Стеклообразование (образование расплавленной стекломассы). Скорость растворения кремнезема. Факторы, влияющие на скорость растворения. Осветление стекломассы. Источники газов в стекломассе. Состав газов. Скорость удаления газов. Ускорение процессов осветления. Гомогенизация и студка.

Типовые режимы варки стекла. Варка в ваннных печах. Типы печей. Распределение температур по длине печи. Зона варки. Квельпункт. Варка в горшковых печах. Передача тепла стекломассе. Температурный режим варки.

Пороки стекла. Газовые, стекловидные и кристаллические пороки. Газовые включения, их источники. Первичные и вторичные пузыри. Мошка. Стекловидные включения – шлиры и свили. Влияние поверхностного натяжения на растворимость свилей. Кристаллические включения, их происхождение.

Огнеупоры стекловаренных печей. Классификация огнеупоров. Технические требования. Динасовые огнеупоры, их фазовый состав, свойства и применение. Алюмосиликатные огнеупоры. Электроплавленные огнеупоры. Оксидные огнеупоры. Неформованные огнеупорные материалы. Теплоизоляционные материалы. Служба огнеупоров в печи. Процесс вывода печи. Коррозия огнеупоров бассейна и верхнего строения печи. Выбор огнеупоров для кладки печи.

1.7. Формование и обработка стекла

Теоретические основы формования изделий из стекла. Методы формования. Кинетика процессов охлаждения и твердения при формовании. Теплообмен при формовании. Взаимодействие стекломассы с формой.

Основы проката, прессования, выдувания и вытягивания стекла. Формование ленты стекла на расплаве металла. Пороки формования и их возникновение.

Механическая обработка стекла. Теоретические основы шлифования и полирования стекла. Абразивные материалы. Шлифование свободным и связанным абразивом. Алмазная обработка. Факторы, влияющие на процессы шлифования и полирования.

Химическая обработка стекла. Виды химической обработки. Химическое травление стекла кислотами. Химическая полировка и матирование. Ионный обмен в поверхностном слое стекла. Упрочнение стекла травлением.

Модифицирование поверхности стекла пленочными покрытиями. Физико-химические методы получения пленочных покрытий на стекле.

1.8. Основы технологии ситаллов

Определение ситаллов и основные этапы их получения. Катализируемая кристаллизация стекла. Катализаторы и механизм их действия. Образование центров кристаллизации. Фотонуклеация. Роль ликвации в процессах кристаллизации. Проектирование составов ситаллов. Выбор основных кристаллических фаз, систем и областей составов. Подбор катализаторов кристаллизации. Установление режимов термообработки.

Технологические схемы получения ситаллов. Стекольная технология и порошковый метод. Приготовление шихты и требования к сырьевым материалам. Особенности варки ситалловых стекол. Формование ситалловых стекол и его особенности. Схемы режимов термической обработки. Темпы нагрева и продолжительность процессов ситаллообразования.

Ситаллы на основе системы $MgO-Al_2O_3-SiO_2$. Основные кристаллические фазы и их свойства. Составы кордиеритовых ситаллов и их свойства. Изменение фазового состава кордиеритовых ситаллов в процессе термообработки.

Ситаллы на основе системы $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$. Основные кристаллические фазы в системе и их свойства. Получение ситаллов с низким, нулевым и отрицательным ТКЛР. Составы ситаллов и режимы термообработки. Литиевые ситаллы с высоким ТКЛР. Прозрачные ситаллы. Фотоситаллы и их составы.

Высококремнеземистые ситаллы. Фазы, обеспечивающие высокие значения ТКЛР. Составы ситаллов и режимы их термообработки.

Износостойкие ситаллы на основе систем $\text{MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, MgO-CaO-SiO_2 и $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Основные кристаллические фазы и их свойства. Катализаторы кристаллизации. Понятие о пироксенах. Составы ситаллов. Ситаллы на основе кальциево-фосфатных систем. Биоситаллы.

Шлакоситаллы и петроситаллы. Составы шлакоситаллов. Катализаторы кристаллизации. Технологическая схема их получения. Особенности варки стекол. Основные кристаллические фазы. Свойства шлакоситаллов. Петроситаллы.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа содержит пять теоретических вопросов из различных разделов курса и три расчетных задания, которые включают определение показателей свойств стекол по методу А. А. Аппена и расчеты шихты по заданному составу стекла. Перед расчетом шихты необходимо обосновать выбор сырьевых материалов. При выполнении контрольной работы рекомендуются источники литературы [1–6].

Номер варианта выполняемой контрольной работы указывает преподаватель.

Метод расчета физико-химических свойств стекла на основе его химического состава приведен в источниках [2, 4]. По методу А. А. Аппена могут быть определены такие показатели свойств, как температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), показатель преломления, средняя дисперсия, плотность, модуль упругости.

Метод расчета вязкости стекол промышленных составов (метод М. В. Охотина) изложен в источниках [2, 12]. По результатам расчета температур, соответствующих заданным значениям вязкости, строится график зависимости $\lg \eta = f(t)$.

Принципы выбора основных и вспомогательных сырьевых материалов, методы расчета шихты для варки сортовых и тарных стекол приведены ниже. В пособии [2] представлены примеры расчета шихты из химически чистых сырьевых материалов, шихты для эмали.

2.1. Выбор сырьевых материалов для варки стекла

Пригодность сырья для приготовления стекольной шихты оценивается по следующим показателям:

- 1) содержание основного вещества;
- 2) содержание оксидов железа и других красящих примесей;
- 3) однородность по химическому составу и гранулометрии.

Основным показателем качества сырьевых материалов является содержание в них оксидов железа, которые придают стеклу нежелательную окраску. В соответствии с ГОСТ 22551 кварцевые пески для стекольной промышленности делятся на 17 марок по содержанию SiO_2 и оксидов железа. Например, кварцевый песок

марки ООВС-015-В предназначен для особо ответственных изделий высокой светопрозрачности (оптического стекла, хрусталя, художественных изделий). В обозначении марок первые три цифры показывают содержание оксида железа в тысячных долях массовых процентов (в рассматриваемом примере 0,015 мас. % Fe_2O_3); четвертая цифра или буква – сорт продукции данной марки (высший, первый, второй). Кварцевый песок такой марки поставляет на предприятия республики ЗАО «Новоселовский горно-обогатительный комбинат» (Украина).

Гомельский ГОК поставляет кварцевый песок марки ВС-050-В, который предназначен для изделий высокой светопрозрачности (листового стекла, стеклоблоков, стеклотары). В соответствии с требованиями стандарта содержание SiO_2 должно быть не менее 98,5 мас. %, содержание Fe_2O_3 – не более 0,05 мас. %. Помимо оксида железа в кварцевых песках могут присутствовать другие красящие оксиды: Cr_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , Co_2O_3 , MnO_2 . Наличие в кварцевом песке примесей Al_2O_3 , CaO , MgO , R_2O нужно учитывать при расчете состава шихты.

Химический состав основных сырьевых материалов, используемых для варки стекла, приведен в прил. 1.

Алюмосодержащие сырьевые материалы представлены техническим глиноземом (смесь α -, β - и γ - Al_2O_3), полевым шпатом, нефелином. Для варки бесцветных стекол с высоким светопропусканием используются технический глинозем и гидрат оксида алюминия. При использовании полевого шпата и нефелина температура варки снижается, потому что они содержат химически связанные с Al_2O_3 оксиды Na_2O , K_2O . Полевой шпат используется для варки тарных и листовых стекол. Из-за повышенного содержания оксида железа в нефелине его используют только для варки окрашенных тарных стекол.

Аналогичным образом выбирают сырьевые материалы для введения в состав стекла оксидов CaO и MgO . Доломит месторождения «Руба», мел Волковисского месторождения содержат примеси оксидов железа и применяются при варке тарных, листовых стекол. При варке оптического, сортового, светотехнического стекла используют синтетическое сырье, например, магний углекислый, кальций углекислый.

Для введения в состав стекла щелочных оксидов используют соду кальцинированную, сульфат натрия, поташ, селитру натриевую и

калиевую. В настоящее время чаще всего используют легкую кальцинированную соду с размером частиц 0,04–0,2 мм. Для уменьшения пыления соды рекомендуется использовать тяжелую гранулированную соду, которая получается в результате перекристаллизации кальцинированной в моногидрат $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ с размером частиц до 2 мм при последующем удалении связанной воды.

В промышленном стекловарении в состав шихты обязательно вводится осветлитель, иначе получить осветленную стекломассу не удастся. Осветлители – вещества, которые разлагаются с выделением газов после завершения процесса стеклообразования при температуре 1300–1450°C. Выбор осветлителя определяется составом стекла. В табл. 1 приведены наиболее распространенные осветлители и их оптимальное содержание в составе стекла либо шихты.

Таблица 1

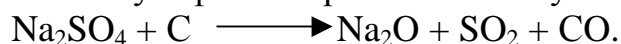
Осветлители стекломассы

Типы стекол	Рекомендуемые осветлители и их комбинации	Содержание осветлителей, мас. %
Листовое, тарное, сортовое	Na_2SO_4 $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{KNO}_3 (\text{NaNO}_3)$	0,3–0,7 в пересчете на Na_2O
Тарное коричневое	NaCl	1–3
Техническое, сортовое, оптическое	$\text{As}_2\text{O}_3 + \text{KNO}_3 (\text{NaNO}_3)$ $\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{KNO}_3 (\text{NaNO}_3)$ $\text{CeO}_2 + \text{KNO}_3 (\text{NaNO}_3)$ $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaNO}_3$	As_2O_3 0,1–0,5 Sb_2O_3 0,1–1 CeO_2 0,15–0,5 $\text{NaNO}_3 (\text{KNO}_3)$ 0,5–4 в пересчете на $\text{Na}_2\text{O} (\text{K}_2\text{O})$
Боросиликатное	$\text{As}_2\text{O}_3 + \text{KNO}_3 + \text{NaCl}$ $\text{As}_2\text{O}_3 + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{CaF}_2$ $\text{CeO}_2, \text{NaCl}$	NaCl 1 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 1–2 CaF_2 0,5–1 CeO_2 до 0,5

Наиболее распространенный осветлитель – сульфат натрия. При введении сульфата натрия разложение его идет по следующей схеме:

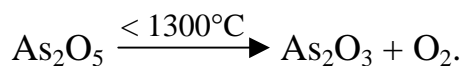
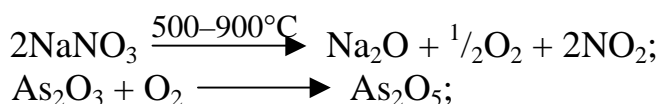


Введение восстановителя (угля каменного) в количестве 5% от содержания сульфата натрия способствует его разложению:



При этом усиливается гомогенизация расплава. Сульфат натрия является также поверхностно-активным веществом.

В производстве хрусталя, оптических, тугоплавких стекол используются оксиды мышьяка, церия и сурьмы в сочетании с нитратами калия, натрия, бария. При введении As_2O_3 и селитры натриевой осветление обеспечивается при протекании следующих реакций:



Аналогично действует осветлитель Sb_2O_3 .

Осветляющее и окисляющее действие CeO_2 связано со следующей реакцией разложения:



В качестве ускорителей варки вводят добавки соединений фтора, бора, аммонийные соли в количестве от 0,25 до 3 мас. %.

Окислительно-восстановительные условия варки регулируются введением окислителей (селитры натриевой и калиевой, оксида церия, сульфата натрия), либо восстановителей (угля, соединений олова, винно-каменной соли $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$).

Окрашивание стекла железом является распространенным, т. к. Fe_2O_3 присутствует во всем минеральном сырье. Fe(II) окрашивает стекло в синевато-зеленый цвет, а Fe(III) – в желтовато-зеленый или желтый. Однако окрашивающая способность Fe(II) примерно в 15 раз выше, чем Fe(III). Для устранения нежелательного цветного оттенка стекла проводят обесцвечивание.

Для химического обесцвечивания вводят окислители KNO_3 , NaNO_3 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, As_2O_3 , CeO_2 . При этом снижается соотношение Fe(II) / Fe(III) в составе стекла и соответственно интенсивность окраски.

Физическое обесцвечивание заключается в том, что в состав стекла вводят добавки красителей, которые окрашивают стекло в красный и (или) фиолетовый оттенок, дополнительный к зеленому

или зелено-голубому, вызванному наличием оксидов железа. Так, введение в шихту селена Se (0,6 г на 100 кг стекла) в сочетании с оксидом кобальта CoO (0,2 г на 100 кг стекла) обеспечивает физическое обесцвечивание стекломассы при содержании оксидов железа менее 0,1 мас. %. В качестве обесцвечивателей используются также такие красители, как оксид никеля NiO, оксид эрбия Er₂O₃, оксид неодима Nd₂O₃, оксид марганца Mn₂O₃.

При введении восстановителя, обычно каменного угля, в состав шихты стекол, содержащих оксид Fe₂O₃ (до 0,4 мас. %) и соединения серы, возникает так называемое угольно-желтое окрашивание. Такой экономичный способ окрашивания применяется при производстве коричневой стеклотары.

2.2. Расчет шихты

2.2.1. Пересчет составов стекол из мольных процентов в массовые

Если состав стекла выражен в мольных процентах, для расчета шихты необходимо произвести пересчет состава в массовые проценты в следующей последовательности:

1) содержание оксида N_i , мол. %, умножают на его молярную массу M_i : $p_i = N_i \cdot M_i$;

2) суммируют массовые содержания всех оксидов, т. е. определяют $\sum_{i=1}^k p_i$, где k – число компонентов стекла;

3) определяют содержание оксида P_i , мас. %:

$$P_i = \frac{100 p_i}{\sum_{i=1}^k p_i} = \frac{100 N_i M_i}{\sum_{i=1}^k N_i M_i}.$$

Пример. Стекло содержит, мол. %: SiO₂ – 75,0; CaO – 10,0; Na₂O – 15,0. Молярная масса оксидов равна: SiO₂ – 60,09; CaO – 56,08; Na₂O – 61,98.

Определим состав стекла, мас. %:

$$p_{\text{SiO}_2} = 75 \cdot 60,09 = 4506,75; \quad p_{\text{CaO}} = 10 \cdot 56,08 = 560,80;$$

$$p_{\text{Na}_2\text{O}} = 15 \cdot 61,98 = 929,70; \quad \sum p_i = 5997,25;$$

отсюда

$$P_{\text{SiO}_2} = \frac{4506,75 \cdot 100}{5997,25} = 75,15; P_{\text{CaO}} = \frac{560,8 \cdot 100}{5997,25} = 9,35;$$

$$P_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{929,7 \cdot 100}{5997,25} = 15,5; \sum P_i = 100,0.$$

2.2.2. Пересчет составов стекол из массовых процентов в мольные

Для пересчета состава стекла из массовых процентов в мольные определяют число молей каждого компонента в его составе:

$$n_i = \frac{P_i}{M_i}.$$

Затем рассчитывают содержание оксидов в мольных процентах:

$$N_i = \frac{100n_i}{\sum_{i=1}^k n_i},$$

где $\sum_{i=1}^k n_i$ – сумма молей всех компонентов стекла.

Пример. Стекло содержит, мас. %: SiO_2 – 75,0; CaO – 12,5; Na_2O – 12,5. Определим состав стекла, мол. %.

Определим число молей каждого компонента стекла:

$$n_{\text{SiO}_2} = \frac{75,0}{60,09} = 1,25; n_{\text{CaO}} = \frac{12,5}{56,08} = 0,22; n_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{12,5}{56,08} = 0,20;$$

$$\sum n_i = 1,67$$

Отсюда содержание оксидов составляет, мол. %:

$$N_{\text{SiO}_2} = \frac{1,25 \cdot 100}{1,67} = 74,85; N_{\text{CaO}} = \frac{0,22 \cdot 100}{1,67} = 13,17;$$

$$N_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{0,20}{1,58} = 11,98;$$

$$\sum N_i = 100.$$

2.2.3. Расчет шихты с использованием пропорций

Рассмотрим пример расчета шихты свинцового хрустала следующего состава, мас. %: SiO_2 – 58,2; Pb_3O_4 – 24,0; ZnO – 1,0; B_2O_3 – 1,0; Na_2O – 2,0; K_2O – 13,3; As_2O_3 – 0,5.

Сырьевые материалы, применяемые для варки хрусталя, приведены в табл. 2. Используем кварцевый песок Новоселовского ГОКа марки ООВС-015-В, свинцовый сурик, борную кислоту, цинковые белила, соду кальцинированную, поташ, селитру калиевую, мышьяк. Селитра калиевая в сочетании с As_2O_3 вводится для осветления и обесцвечивания стекломассы.

Таблица 2

Исходные данные для расчета шихты

Сырьевые материалы	Основное вещество	Содержание основного вещества, мас. %	Унос, %
Песок кварцевый Новоселовского ГОКа (Украина)	SiO_2	99,6	–
Свинцовый сурик	Pb_3O_4	98,5	8
Цинковые белила	ZnO	99,7	6
Борная кислота	H_3BO_3	99,9	15
Сода кальцинированная	Na_2CO_3	99,5	2
Поташ	K_2CO_3	99,8	7
Селитра калиевая	KNO_3	99,9	5
Мышьяк	As_2O_3	100	25

При расчете шихты по заданному составу стекла необходимо учесть содержание оксида в соединении, содержание основного вещества в материале, потери на улетучивание (унос) при стекловарении. Содержание основного вещества в материале определяют по результатам химического анализа поступающих на предприятие партий сырья. Потери на улетучивание зависят от вида компонента и условий варки. Их определяют на основе опытных данных.

Определяем количество песка кварцевого:

100 мас. ч. песка кварцевого – 99,6 мас. ч. SiO_2

x – 58,2 мас. ч. SiO_2

$$x = 58,2 \cdot 100 / 99,6 = 58,43 \text{ мас. ч.}$$

Определяем количество свинцового сурика:

100 мас. ч. свинцового сурика – 98,5 мас. ч. Pb_3O_4

$$x \qquad \qquad \qquad - 24,0 \text{ мас. ч. Pb}_3\text{O}_4$$

$$x = 24 \cdot 100 / 98,5 = 24,36 \text{ мас. ч.}$$

С учетом потерь на улетучивание количество свинцового сурика составит:

$$24,36 \cdot 1,08 = 26,31 \text{ мас. ч.}$$

Определяем количество цинковых белил:

$$100 \text{ мас. ч. белил} - 99,7 \text{ мас. ч. ZnO}$$

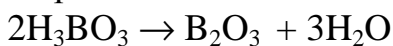
$$x \qquad \qquad \qquad - 1,0 \text{ мас. ч. ZnO}$$

$$x = 1 \cdot 100 / 99,7 = 1,003 \text{ мас. ч.}$$

С учетом потерь на улетучивание количество цинковых белил составит:

$$1,003 \cdot 1,06 = 1,06 \text{ мас. ч.}$$

Определяем количество борной кислоты:



$$126,3 \text{ мас. ч. H}_3\text{BO}_3 - 69,6 \text{ мас. ч. B}_2\text{O}_3$$

$$x \qquad \qquad \qquad - 1,0 \text{ мас. ч. B}_2\text{O}_3$$

$$x = 1 \cdot 126,3 / 69,6 = 1,81 \text{ мас. ч.}$$

Здесь 126,3 и 69,6 мас. ч. – молярные массы H_3BO_3 и B_2O_3 соответственно.

Учитываем содержание основного вещества в борной кислоте:

$$100 \text{ мас. ч. борной кислоты} - 99,9 \text{ мас. ч. H}_3\text{BO}_3,$$

$$x \qquad \qquad \qquad - 1,81 \text{ мас. ч. H}_3\text{BO}_3,$$

$$x = 1,81 \cdot 100 / 99,9 = 1,82 \text{ мас. ч.}$$

С учетом потерь на улетучивание количество борной кислоты составит:

$$1,82 \cdot 1,15 = 2,09 \text{ мас. ч.}$$

Определяем количество соды кальцинированной:



$$106 \text{ мас. ч. Na}_2\text{CO}_3 - 62 \text{ мас. ч. Na}_2\text{O}$$

$$x \qquad \qquad \qquad - 2 \text{ мас. ч. Na}_2\text{O}$$

$$x = 2 \cdot 106 / 62 = 3,42 \text{ мас. ч.}$$

Учитываем содержание Na_2CO_3 в соде кальцинированной:

$$100 \text{ мас. ч. соды кальцинированной} - 99,5 \text{ мас. ч. Na}_2\text{CO}_3$$

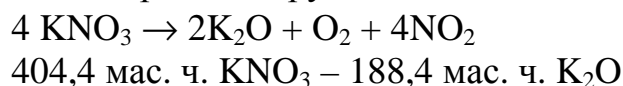
$$x \qquad \qquad \qquad - 3,42 \text{ мас. ч. Na}_2\text{CO}_3$$

$$x = 3,42 \cdot 100 / 99,5 = 3,44 \text{ мас. ч.}$$

С учетом потерь на улетучивание количество соды кальцинированной составит:

$$3,44 \cdot 1,02 = 3,51 \text{ мас. ч.}$$

Определяем количество селитры калиевой. Для обеспечения осветления через селитру вводится 4 мас. ч. K_2O .



$$404,4 \text{ мас. ч. KNO}_3 - 188,4 \text{ мас. ч. K}_2\text{O}$$

$$x \qquad \qquad \qquad - 4 \text{ мас. ч. K}_2\text{O}$$

$$x = 4 \cdot 404,4 / 188,4 = 8,59 \text{ мас. ч.}$$

Учитываем содержание основного вещества в калиевой селитре:

$$100 \text{ мас. ч. селитры} - 99,98 \text{ мас. ч. KNO}_3$$

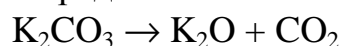
$$x \qquad \qquad \qquad - 8,59 \text{ мас. ч. KNO}_3$$

$$x = 8,59 \cdot 100 / 99,98 = 8,60 \text{ мас. ч.}$$

С учетом потерь на улетучивание количество калиевой селитры составит:

$$8,60 \cdot 1,05 = 9,03 \text{ мас. ч.}$$

Определяем количество поташа:



$$138,2 \text{ мас. ч. K}_2\text{CO}_3 - 94,2 \text{ мас. ч. K}_2\text{O}$$

$$x \qquad \qquad \qquad - (13,3 - 4) \text{ мас. ч. K}_2\text{O}$$

$$x = 9,3 \cdot 138,2 / 94,2 = 13,64 \text{ мас. ч.}$$

С учетом содержания основного вещества:

$$100 \text{ мас. ч. поташа} - 99,8 \text{ мас. ч. K}_2\text{CO}_3$$

$$x \qquad \qquad \qquad - 13,64 \text{ мас. ч. K}_2\text{CO}_3$$

$$x = 13,64 \cdot 100 / 99,8 = 13,67 \text{ мас. ч.}$$

С учетом потерь на улетучивание количество поташа составит:

$$13,67 \cdot 1,07 = 14,62 \text{ мас. ч.}$$

Количество As_2O_3 составит $0,5 \cdot 1,25 = 0,625 \text{ мас. ч.}$

Таким образом, для получения 100 мас. ч. свинцового хрустала заданного состава необходимо ввести в шихту следующие сырьевые материалы, мас. ч.:

песок кварцевый	58,43
сурик свинцовый	26,31
цинковые белила	1,06
борная кислота	2,09
сода кальцинированная	3,51
калиевая селитра	9,03
поташ	14,62
мышьяк	0,625.

2.2.4. Расчет шихты с использованием системы уравнений

Рассмотрим пример расчета шихты тарного стекла следующего состава, мас. %: SiO_2 – 72,6; Na_2O – 13,9; CaO – 9,5; MgO – 1,6; Al_2O_3 – 2,4. Кремнезем вводим через песок кварцевый Гомельского ГОКа. Его необходимое количество обозначим через x_1 . В качестве сырьевых материалов используем также мел (x_2), доломит (x_3), соду (x_4), полевой шпат (x_5). В качестве осветлителя вводим сульфат натрия (x_6). Количество Na_2O , вводимого через Na_2SO_4 , составляет 0,5 мас. %. Количество восстановителя (угля каменного) составляет 5% от массы сульфата натрия в составе шихты.

Химический состав сырьевых материалов приведен в табл. 3.

Расчет производится на 100 мас. ч. стекла. При лабораторных варках расчет ведут на 100 г стекла, при промышленных – на 100 кг стекла.

Таблица 3

Химический состав сырьевых материалов

Сырьевые материалы	Содержание сырья, мас. ч.	Содержание оксидов, мас. %					
		SiO_2	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3
Песок кварцевый	x_1	99,0	–	0,5	–	0,1	0,06
Мел	x_2	1,2	–	54,3	0,6	0,6	0,1
Доломит	x_3	3,5	–	29,5	20,5	1,6	0,18
Сода кальцинированная	x_4	–	58,0	–	–	–	–

Полевой шпат	x_5	60,8	15,1	–	–	22,4	0,25
Сульфат натрия	x_6	–	43,4	–	–	–	–

При определении требуемого количества сырьевых материалов необходимо учесть введение оксида с каждым материалом. Например, кремнезем входит в состав песка кварцевого, мела, доломита и полевого шпата.

Определяем количество SiO_2 , вводимого с данными сырьевыми материалами, мас. %:

$$\text{с песком } 99x_1 / 100 = 0,99x_1;$$

$$\text{с мелом } 1,2x_2 / 100 = 0,012x_2;$$

$$\text{с доломитом } 3,5x_3 / 100 = 0,035x_3;$$

$$\text{с полевым шпатом } 60,8x_5 / 100 = 0,608x_5.$$

Всего необходимо ввести 72,6 мас. % SiO_2 .

Составляем уравнение:

$$72,6 = 0,99x_1 + 0,012x_2 + 0,035x_3 + 0,608x_5.$$

Аналогичные уравнения составляем для других оксидов и получаем систему уравнений с шестью неизвестными:

$$\text{для } \text{SiO}_2 \quad 72,6 = 0,99x_1 + 0,012x_2 + 0,035x_3 + 0,608x_5;$$

$$\text{для } \text{CaO} \quad 9,5 = 0,005x_1 + 0,543x_2 + 0,295x_3;$$

$$\text{для } \text{MgO} \quad 1,6 = 0,006x_2 + 0,205x_3;$$

$$\text{для } \text{Al}_2\text{O}_3 \quad 2,4 = 0,001x_1 + 0,006x_2 + 0,016x_3 + 0,224x_5;$$

$$\text{для } \text{Na}_2\text{O} \quad 13,9 - 0,5 = 0,58x_4 + 0,151x_5;$$

$$0,5 = 0,434x_6.$$

Определяем количество сульфата натрия: $x_6 = 0,5 / 0,434 = 1,15$ мас. ч.

Для упрощения расчета исключаем из уравнения для MgO составляющую $0,006x_2$, полагая, что количество MgO , вносимое с мелом, незначительно. Тогда требуемое количество доломита составит x_3 =

$$= 1,6 / 0,205 = 7,80 \text{ мас. ч.}$$

Подставляя значение x_3 в уравнения для SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , решаем систему уравнений.

Расчитанный состав шихты, мас. ч.:

$$\text{песок кварцевый} \quad 66,87$$

$$\text{мел} \quad 12,64$$

$$\text{доломит} \quad 7,80$$

$$\text{сода кальцинированная} \quad 20,55$$

полевой шпат 9,82

сульфат натрия 1,15

Определяем количество восстановителя – угля каменного, вводимого в количестве 5% от содержания сульфата натрия в шихте:

$$(1,15 \cdot 5) / 100 = 0,06 \text{ мас. ч.}$$

Определяем расчетный состав стекла, исходя из рецепта шихты и состава сырьевых материалов. Например, с песком кварцевым в состав стекла войдут следующие компоненты, мас. %:

$$\text{SiO}_2 (66,87 \cdot 99) / 100 = 66,20;$$

$$\text{CaO} (66,87 \cdot 0,5) / 100 = 0,334;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 (66,87 \cdot 0,1) / 100 = 0,067;$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 (66,87 \cdot 0,06) / 100 = 0,040.$$

Аналогично рассчитываем количество оксидов, которые вводятся в состав стекла с каждым сырьевым материалом.

Расчетный состав стекла отличается от заданного, поскольку учтен примесный оксид железа. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Составы шихты и стекла по результатам расчета

Состав шихты			Содержание оксидов, мас %					
Сырьевые материалы	Обозначение	Содержание, мас. %	SiO ₂	CaO	MgO	R ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Песок кварцевый	x ₁	66,87	66,20	0,335		–	0,066	0,040
Мел	x ₂	12,64	0,152	6,864	0,075	–	0,075	0,012
Доломит	x ₃	7,80	0,273	2,301	1,599	–	0,124	0,014
Сода кальцинированная	x ₄	20,55	–	–	–	11,92	–	–
Полевой шпат	x ₅	9,82	5,97	–	–	1,48	2,199	0,024
Сульфат натрия	x ₆	1,15	–	–	–	0,50	–	–
Уголь		0,06						
Масса шихты		118,89						
Расчетный состав стекла			72,595	9,5	1,674	13,90	2,464	0,09
Заданный состав стекла			72,6	9,5	1,6	13,9	2,4	–

Отклонение состава от заданного	расчетного	-0,005	0	+0,074	0	+0,064	+0,09
------------------------------------	------------	--------	---	--------	---	--------	-------

Определяем угар шихты, исходя из того, что из 118,89 мас. ч. шихты получаем 100 мас. ч. стекла. Соответственно из 100 мас. ч. шихты получим стекла:

$$(100 / 118,89) \cdot 100 = 84,1 \text{ мас. ч.}$$

Потери при стеклообразовании составят:

$$100 - 84,1 = 15,9 \text{ мас. ч. (угар шихты).}$$

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа выполняется на основе задания, в котором указывается тема работы и годовой выпуск продукции. Тема курсовой работы – разработка рациональной технологической схемы производства стеклоизделий конкретного назначения, начиная с обработки сырьевых материалов и заканчивая складом готовой продукции.

Курсовая работа включает пояснительную записку и графическую часть.

Графический материал содержит технологическую схему производства и выполняется на листе формата А1.

Пояснительная записка к курсовой работе включает: титульный лист; задание по курсовой работе; реферат; содержание; введение; аналитический обзор литературы; ассортимент продукции и требования к ней; химический состав стекла, характеристику сырьевых материалов, расчет шихты; технологическую схему производства и ее описание; расчет материального баланса; подбор технологического и теплотехнического оборудования; виды брака и контроль производства; мероприятия по охране окружающей среды; заключение; список использованных источников. Объем разделов пояснительной записки составляет: введение – 1–2 страницы, аналитический обзор литературы – 10–15 страниц, технологический раздел – 25–30 страниц.

Пояснительная записка оформляется на одной стороне формата А4. Каждый раздел текста пояснительной записки начинают с нового листа. Реферат, содержание, заключение, список литературы и первая страница каждого раздела должны снабжаться основной надписью для текстовых документов, выполненных по СПДС [19]. Остальные страницы не имеют рамок и основных надписей.

Оформление текстового материала пояснительной записки должно соответствовать требованиям стандарта [19].

В **реферате** указывается объем пояснительной записки, а также количество рисунков, таблиц и источников литературы. Далее через интервал перечисляются от 5 до 15 ключевых слов, написанных прописными буквами в единственном числе именительном падеже. В тексте реферата кратко отражается содержание курсовой работы с

основными выводами и результатами расчетов. Объем реферата – не более одной страницы.

Во **введении** следует отразить актуальность разработки технологической схемы производства, перспективы развития производства продукции заданного ассортимента, пути снижения энергетических и материальных затрат при производстве и способы повышения качества стеклоизделий.

Аналитический обзор выполняется на основе проработки различных изданий научно-технической литературы: учебников, монографий, производственно-технических книг, журнальных статей, патентной документации. В обзоре дается характеристика продукции – определение, назначение, основные свойства, составы стекол. Последовательно рассматриваются способы производства продукции, при этом указываются их преимущества и недостатки. При изложении информации даются ссылки на использованные источники, список которых приводится в конце пояснительной записки.

В литературном обзоре должно быть изложено современное состояние и направления совершенствования технологии производства стеклоизделий. На основе анализа способов производства выбирается рациональная технологическая схема. При этом должны использоваться прогрессивные технические решения, в частности, наиболее производительные способы формования, механизированные и автоматизированные процессы обработки стеклоизделий.

Технологический раздел состоит из подразделов.

В подразделе «Ассортимент продукции и требования к ней» необходимо привести данные по назначению продукции, основные требования к ней в соответствии с ГОСТом на продукцию. Необходимо выбрать ассортимент продукции и определить количество изделий конкретных видов и марок в соответствии с заданной производительностью.

Химический состав стекла выбирается на основе производственного опыта с учетом современных тенденций по совершенствованию составов стекол. Приводятся данные по влиянию компонентов стекла на его свойства. Обосновывается выбор основных и вспомогательных сырьевых материалов в соответствии с назначением стекла. Приводится характеристика сырьевых материалов, при этом указывается их марка, номер ГОСТа или ТУ на материал, требования нормативной документации по содержанию в

нем основного вещества, примесей, влаги. В соответствии с выбранным составом стекла проводится расчет шихты. Рецепт шихты должен включать такие компоненты, как осветлители, обесцвечиватели (для бесцветного стекла).

Технологическая схема производства заданного вида продукции выбирается на основе обзора способов производства, приведенного в первом разделе пояснительной записки. Технологическая схема начинается с подготовки сырьевых материалов и заканчивается транспортировкой готовых изделий на склад. Рациональность технологической схемы производства обосновывается преимуществами выбранных способов обработки сырьевых материалов, варки стекла и формования стеклоизделий по производительности процессов, качеству изделий, уровню механизации и автоматизации, условиям труда.

Пример оформления схемы обработки сырьевых материалов приведен в прил. 2, производства стеклянной тары – в прил. 3.

Описание технологического процесса производства изделий включает назначение отдельных технологических операций, сущность физико-химических процессов (стекловарения, формования, отжига), основные технологические параметры этих процессов. Например, при описании варки стекла необходимо изложить назначение и сущность стадий стекловарения, температурные режимы варки и выработки.

Расчет материального баланса выполняется для правильного подбора технологического оборудования и определения потребности в сырье и материалах на всех стадиях технологического процесса. Исходными данными для расчета материального баланса являются: годовая производительность готовой продукции в весовом выражении, технологические потери на всех стадиях производства и доля их возврата в производство. Данные по потерям берутся на предприятии. Методика расчета материального баланса изложена в пособии [6].

Подбор технологического и теплотехнического оборудования производится в соответствии с разработанной схемой. Выбирается тип тепловых агрегатов (стекловаренной печи, печи отжига), приводятся их основные характеристики. Суточная производительность стекловаренной печи определяется в соответствии с материальным балансом. На основе данных по производительности печи и удельному съему стекломассы рассчитывается площадь печи.

Основные характеристики стекловаренных печей приведены в учебном пособии [7].

Тип и основные характеристики технологического оборудования, необходимого для формования и обработки изделий, а также для обработки сырья, смешивания и загрузки шихты, выбираются по нормативно-технической документации предприятий, учебной и технической литературе [11–16, 20].

Расчет необходимого количества оборудования проводится по формуле $n = Q_1 / Q_2 \cdot k$. Здесь Q_1 – требуемая часовая производительность по данному технологическому переделу. Она определяется на основе данных материального баланса; Q_2 – часовая производительность выбранного агрегата; k – нормативный коэффициент использования оборудования, принимается равным 0,8–0,9.

Подраздел «Виды брака и контроль производства» выполняется на основе данных нормативно-технической документации (стандартов, технологических регламентов), а также учебной и технической литературы [1, 8, 12, 13, 16]. При этом излагаются сведения о пороках стекла, связанных со стекловарением и формованием, основных причинах их появления и способах устранения.

В заключении технологического раздела приводятся сведения о видах и основных источниках отходов и вредных выбросов при производстве стеклоизделий. Предлагаются мероприятия, обеспечивающие охрану окружающей среды и утилизацию отходов производства. Рекомендуемая литература [1, 12, 20].

В **заключении** курсовой работы в кратком и конкретном виде излагаются преимущества выбранной технологической схемы, данные по видам применяемого технологического оборудования.

При выполнении графической части курсовой работы необходимо схематично изобразить разработанную технологическую схему производства. Схематичное изображение основного технологического оборудования для обработки сырьевых материалов приведено в стандарте [19].

4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Вариант 1

1. Классификация стекол по химическому составу. Характеристика стекол различных типов.
2. Температурная зависимость вязкости стекол. Технологическая шкала вязкости. Длинные и короткие стекла. Влияние состава на вязкость стекол.
3. Показатель преломления и дисперсия стекол, влияние состава на оптические постоянные. Типы оптических стекол.
4. Процессы стеклообразования, осветления и гомогенизации. Факторы, влияющие на скорость данных процессов.
5. Динасовые огнеупоры: состав, свойства, применение.
6. Рассчитать ТКЛР листового стекла состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 72,8$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,8$; $\text{CaO} - 9,8$; $\text{MgO} - 3,2$; $\text{Na}_2\text{O} - 13,4$.
7. Рассчитать шихту для варки оптического стекла К8 состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 68,6$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 11,2$; $\text{BaO} - 2,65$; $\text{Na}_2\text{O} - 10,4$; $\text{K}_2\text{O} - 6,8$; $\text{As}_2\text{O}_3 - 0,35$. Обосновать выбор сырьевых материалов.
8. Обосновать выбор основных и вспомогательных сырьевых материалов и рассчитать шихту для варки бесцветного тарного стекла состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 72,5$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 2,0$; $\text{MgO} - 3$; $\text{CaO} - 9$; $\text{Na}_2\text{O} - 13,5$.

Вариант 2

1. Общие свойства веществ в стеклообразном состоянии. Температурный интервал стеклования.
2. Поверхностное натяжение расплавов и стекол. Роль поверхностного натяжения в технологии стекла.
3. Вспомогательные сырьевые материалы и их роль при варке стекол.
4. Электроплавленные огнеупоры стекловаренных печей: составы, свойства, применение.
5. Ситаллы на основе системы $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$: состав, свойства, применение.
6. Рассчитать по методу А. А. Аппена оптические постоянные стекла состава, мол. %: $\text{SiO}_2 - 71,9$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 3,2$; $\text{BaO} - 9,2$; $\text{ZnO} - 4,4$; $\text{Na}_2\text{O} - 3,5$; $\text{K}_2\text{O} - 7,6$; $\text{As}_2\text{O}_3 - 0,3$. Определить тип оптического стекла.
7. Рассчитать шихту для варки сортового стекла состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 73,6$; $\text{CaO} - 8,8$; $\text{BaO} - 1,5$; $\text{Na}_2\text{O} - 11,3$; $\text{K}_2\text{O} - 4,8$.

Предусмотреть введение в состав шихты осветлителей и обесцвечивателей.

8. Подобрать сырьевые материалы и рассчитать шихту для варки коричневого тарного стекла состава, мас. %: SiO_2 – 73,4; Al_2O_3 – 1,2; CaO – 11,6; Na_2O – 13,8.

Вариант 3

1. Температурный интервал стеклования. Кинетика стеклования. Термическое последствие.

2. Механическая прочность стекол. Теория прочности Гриффитса. Статистическая теория прочности. Факторы, определяющие прочность стекла.

3. Отражение света. Просветление оптики. Явление полного внутреннего отражения и его использование в оптических системах.

4. Влияние V_2O_5 и Al_2O_3 на свойства силикатных стекол. Алюмоборный эффект. Сырьевые материалы для ввода данных оксидов в состав стекла.

5. Проектирование составов ситаллов. Подбор катализаторов кристаллизации и определение режимов термообработки.

6. Определить температурную зависимость вязкости тарного стекла состава, мас. %: SiO_2 – 72,7; Al_2O_3 – 1,6; CaO – 10,6; MgO – 1,7; Na_2O – 13,4.

7. Рассчитать шихту для варки хрусталя состава, мас. %: SiO_2 – 60; V_2O_5 – 0,8; Na_2O – 3,8; K_2O – 10,7; PbO – 24,2; ZnO – 0,5. Обосновать выбор основных и вспомогательных сырьевых материалов.

8. Определить суточную потребность в сырьевых материалах для варки 500 т листового стекла состава, мас. %: SiO_2 – 72,4; Al_2O_3 – 1,8; MgO – 3,6; CaO – 8,6; Na_2O – 13,6.

Вариант 4

1. Склонность оксидов к стеклообразованию. Критерии стеклообразования.

2. Плотность стекол и мольный объем. Влияние состава на плотность стекол.

3. Отражение света. Связь коэффициента отражения с показателем преломления. Диффузное отражение света. Глушение стекол.

4. Влияние оксидов-модификаторов на свойства стекол. Сырьевые материалы для введения данных оксидов в состав стекла.

5. Технологические схемы получения ситаллов. Особенности варки и формования ситалловых стекол. Режимы термической обработки.

6. Оценить влияние оксидов MgO и CaO на вязкость стекол по результатам расчета температурной зависимости вязкости составов, мас. %:

а) SiO₂ – 73,0; Al₂O₃ – 1,5; Na₂O – 14,0; MgO – 3; CaO – 8,5;

б) SiO₂ – 73,0; Al₂O₃ – 1,5; Na₂O – 14,0; CaO – 11,5.

7. Рассчитать шихту для варки медицинского стекла состава, мас. %: SiO₂ – 72,8; Al₂O₃ – 4,5; MgO – 0,8; CaO – 6,1; B₂O₃ – 6,0; Na₂O – 8,1; K₂O – 1,7.

8. Рассчитать шихту для варки стекла для стекловолокна состава, мас. %: SiO₂ – 53,4; Al₂O₃ – 14,5; B₂O₃ – 9,0; Na₂O – 0,4; MgO – 3,6; CaO – 18,6; F⁻ – 0,5. Обосновать выбор основных и вспомогательных сырьевых материалов.

Вариант 5

1. Строение кварцевого стекла. Различие в структурах кристаллического и стеклообразного кремнезема.

2. Методы упрочнения стекла. Травление поверхности. Ионный обмен. Закалка стекла.

3. Поглощение и пропускание стекла. Спектры собственного поглощения. Граничное условие прозрачности.

4. Методы подготовки шихты для стекловарения. Требования к шихте. Гранулирование шихты и его эффективность.

5. Основные стадии получения ситаллов. Катализаторы кристаллизации и механизм их действия.

6. Рассчитать показатель преломления и дисперсию стекла для очковой оптики состава, мас. %: SiO₂ – 71,4; Al₂O₃ – 0,9; BaO – 2,3; CaO – 8,7; Na₂O – 13,3; K₂O – 2,9; CeO₂ – 0,5.

7. Рассчитать шихту для варки сортового стекла состава, мас. %: SiO₂ – 74,2; CaO – 8,8; Na₂O – 14,5; K₂O – 2,2; Sb₂O₃ – 0,3. Подобрать вспомогательные сырьевые материалы (осветлители, обесцвечиватели).

8. Обосновать выбор основных и вспомогательных сырьевых материалов и рассчитать шихту для варки зеленого тарного стекла состава, мас. %: SiO₂ – 71,8; Al₂O₃ – 4; Na₂O – 14,0; MgO – 3,05; CaO – 7,0; Cr₂O₃ – 0,15.

Вариант 6

1. Строение щелочно-силикатных и щелочно-алюмосиликатных стекол. Координационное состояние алюминия в стекле и его влияние на свойства стекол.

2. Упругость стекол. Пределы изменения модуля упругости силикатных стекол.

3. Спектры поглощения окрашенных стекол. Три группы красителей. Спектры люминесценции.

4. Пороки стекла, их характеристика. Источники образования пороков стекла и методы их устранения.

5. Требования к сырьевым материалам и шихте. Контроль качества шихты.

6. Рассчитать ТКЛР химико-лабораторного стекла состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 74,7$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 9,6$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 5,6$; $\text{CaO} - 1,0$; $\text{BaO} - 2,2$; $\text{Na}_2\text{O} - 6,9$. Объяснить связь между ТКЛР стекла и его термостойкостью.

7. Рассчитать шихту для варки оптического стекла состава, мол. %: $\text{SiO}_2 - 62,5$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 12,5$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 2,5$; $\text{Na}_2\text{O} - 12$; $\text{K}_2\text{O} - 2$; $\text{ZnO} - 5$; $\text{CaO} - 3,0$; $\text{CeO}_2 - 0,5$.

8. Определить суточную потребность в сырьевых материалах для варки 40 т стекла для стекловолокна состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 54,2$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 14,4$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 8,5$; $\text{Na}_2\text{O} - 0,7$; $\text{MgO} - 3,7$; $\text{CaO} - 18,5$.

Вариант 7

1. Строение боратных, щелочно-боратных и щелочно-алюмоборосиликатных стекол. Координационное состояние бора и его влияние на свойства стекол.

2. Твердость и хрупкость стекол. Ударная вязкость.

3. Химическая устойчивость стекол. Влияние химического состава стекол на их химическую устойчивость.

4. Режимы отжига стеклоизделий. Расчет режимов отжига и контроль качества отжига.

5. Ситаллы на основе системы $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$: фазовый и химический состав, свойства, применение.

6. Определить расчетным методом температурную зависимость вязкости листового стекла состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 73,0$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 1,0$; $\text{Na}_2\text{O} - 13,5$; $\text{MgO} - 3,2$; $\text{CaO} - 9,3$. Построить графическую зависимость $\lg \eta = f(t)$.

7. Подобрать сырьевые материалы и рассчитать шихту для варки красного сортового стекла состава, мас. %: SiO_2 – 69,5; Na_2O – 11,6; K_2O – 4,0; ZnO – 10,2; B_2O_3 – 2,6; Se – 0,45; CdS – 1,65.

8. Рассчитать шихту для варки узорчатого листового стекла состава, мас. %: SiO_2 – 72,0; Al_2O_3 – 0,8; MgO – 3,4; CaO – 10,0; Na_2O – 13,8. Обосновать выбор сырьевых материалов, подобрать красители для получения окрашенного стекла.

Вариант 8

1. Кристаллизация стекол. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Кривые Таммана.

2. Электрические свойства стекол. Электропроводность и ее температурная зависимость. Влияние химического состава на электропроводность.

3. Стадии процесса формования стекла. Скорость твердения. Факторы, определяющие процесс формования стекла.

4. Износостойкие ситаллы на основе систем MgO-CaO-SiO_2 , $\text{MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Шлакоситаллы и петроситаллы.

5. Требования, предъявляемые к сырьевым материалам. Технологические схемы обработки сырьевых материалов.

6. Рассчитать ТКЛР электролампового стекла состава, мас. %: SiO_2 – 67,9; Al_2O_3 – 3,4; Li_2O – 1,2; Na_2O – 7,5; K_2O – 4,9; MgO – 1,3; CaO – 1,9; SrO – 3,0; BaO – 8,9. Объяснить связь между ТКЛР стекла и его термостойкостью.

7. Рассчитать шихту для варки электролампового стекла указанного выше состава.

8. Обосновать выбор сырьевых материалов и рассчитать шихту для варки стекла для стекловолокна состава, мас. %: SiO_2 – 65,0; Al_2O_3 – 4,0; B_2O_3 – 5,5; Na_2O – 8,5; MgO – 3,0; CaO – 14,0.

Вариант 9

1. Поверхностная и объемная кристаллизация. Параметры, определяющие кристаллизационную способность стекол.

2. Термостойкость стекол. Факторы, определяющие термостойкость стекол. Теплоемкость и теплопроводность стекол, влияние на них химического состава.

3. Этапы стекловарения. Факторы, определяющие интенсивность процессов стеклообразования.

4. Отжиг стеклоизделий. Механизм возникновения внутренних напряжений. Релаксация напряжений.

5. Технические ситаллы: состав, свойства, применение.

6. Рассчитать оптические постоянные стекла состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 68,8$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 18,9$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 2,0$; $\text{K}_2\text{O} - 10,0$; $\text{As}_2\text{O}_3 - 0,30$.

7. Рассчитать шихту для варки белой покровной эмали состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 43,5$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 3,4$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 14,0$; $\text{Na}_2\text{O} - 8,3$; $\text{K}_2\text{O} - 3,2$; $\text{CaO} - 1,9$; $\text{TiO}_2 - 16,8$; $\text{Na}_3\text{AlF}_6 - 8,9$.

8. Рассчитать шихту для варки бесцветной стеклотары состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 72,6$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 2,1$; $\text{CaO} - 11,4$; $\text{Na}_2\text{O} - 13,9$. Предусмотреть введение компонентов, необходимых для осветления и обесцвечивания стекломассы.

Вариант 10

1. Ликвация в расплавах и стеклах. Роль ликвации в процессах кристаллизации.

2. Теплофизические свойства стекол. Термическое расширение. Влияние состава стекла на ТКЛР.

3. Окрашивание стекла оксидами переходных и редкоземельных металлов. Спектры поглощения окрашенных стекол.

4. Упрочнение стекла: закалка, ионный обмен, нанесение пленочных покрытий. Механизм упрочнения при закалке стекла.

5. Варка стекла в ваннах печах. Температурные режимы варки. Передача тепла стекломассе.

6. Рассчитать показатель преломления и дисперсию свинцового хрусталя, содержащего, мас. %: $\text{SiO}_2 - 58,55$; $\text{PbO} - 25,5$; $\text{ZnO} - 1,5$; $\text{K}_2\text{O} - 12,0$; $\text{Na}_2\text{O} - 2,0$; $\text{As}_2\text{O}_3 - 0,45$.

7. Рассчитать шихту для варки сортового стекла состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 70,4$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 1,8$; $\text{BaO} - 2,45$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 0,8$; $\text{CaO} - 8,25$; $\text{Na}_2\text{O} - 11,6$; $\text{K}_2\text{O} - 4,45$; $\text{As}_2\text{O}_3 - 0,25$. Предложить красители для получения цветного стекла (синего, красного).

8. Рассчитать шихту для варки коричневого тарного стекла, содержащего, мас. %: $\text{SiO}_2 - 72,4$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 2,0$; $\text{CaO} - 9,7$; $\text{MgO} - 1,6$; $\text{Na}_2\text{O} - 14,0$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,3$. Предусмотреть введение в шихту вспомогательных сырьевых материалов, обеспечивающих окрашивание и осветление стекла.

Вариант 11

1. Строение щелочно-силикатных и щелочно-алюмосиликатных стекол. Координационное состояние алюминия в стекле и его влияние на свойства стекол.

2. Температурная зависимость вязкости стекол. Технологическая шкала вязкости. Влияние состава на вязкость стекол.

3. Окрашивание стекла молекулярными и коллоидными красителями. Спектры пропускания и поглощения окрашенных стекол.

4. Стадии процесса формования стекла. Скорость твердения. Факторы, определяющие скорость твердения.

5. Режимы отжига стеклоизделий. Расчет режимов отжига и контроль качества отжига.

6. Рассчитать показатель преломления и дисперсию оптического стекла состава, мас. %: SiO_2 – 68,6; B_2O_3 – 11,2; BaO – 2,65; Na_2O – 10,4; K_2O – 6,8; As_2O_3 – 0,35.

7. Рассчитать шихту для варки сортового стекла состава, мас. %: SiO_2 – 74,2; CaO – 8,8; Na_2O – 14,5; K_2O – 2,2; Sb_2O_3 – 0,3. Подобрать вспомогательные сырьевые материалы (осветлители, обесцвечиватели).

8. Подобрать сырьевые материалы и рассчитать шихту для варки бесцветного тарного стекла состава, мас. %: SiO_2 – 72,6; Al_2O_3 – 2,1; CaO – 9,9; MgO – 1,5; Na_2O – 13,9.

Вариант 12

1. Кристаллизация стекла. Показатели, определяющие кристаллизационную способность стекол.

2. Оптические постоянные стекол. Влияние состава стекла на оптические постоянные. Расчет показателя преломления и дисперсии.

3. Диэлектрические свойства стекол. Диэлектрическая проницаемость. Диэлектрические потери. Электрическая прочность. Пробивное напряжение.

4. Влияние оксидов-модификаторов на технологические и физико-химические свойства стекла.

5. Процессы стекловарения. Факторы, влияющие на скорость данных процессов.

6. Рассчитать температурную зависимость вязкости тарного стекла состава, мас. %: SiO_2 – 72,6; Al_2O_3 – 1,4; MgO – 3; CaO – 9,5; Na_2O – 13,5.

7. Рассчитать шихту для варки химико-лабораторного стекла состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 74,7$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 9,6$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 5,6$; $\text{CaO} - 1,0$; $\text{BaO} - 2,2$; $\text{Na}_2\text{O} - 6,9$.

8. Обосновать выбор сырьевых материалов и рассчитать шихту для варки листового стекла состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 72,4$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 1,8$; $\text{MgO} - 3,6$; $\text{CaO} - 8,6$; $\text{Na}_2\text{O} - 13,6$.

Химический состав сырьевых материалов

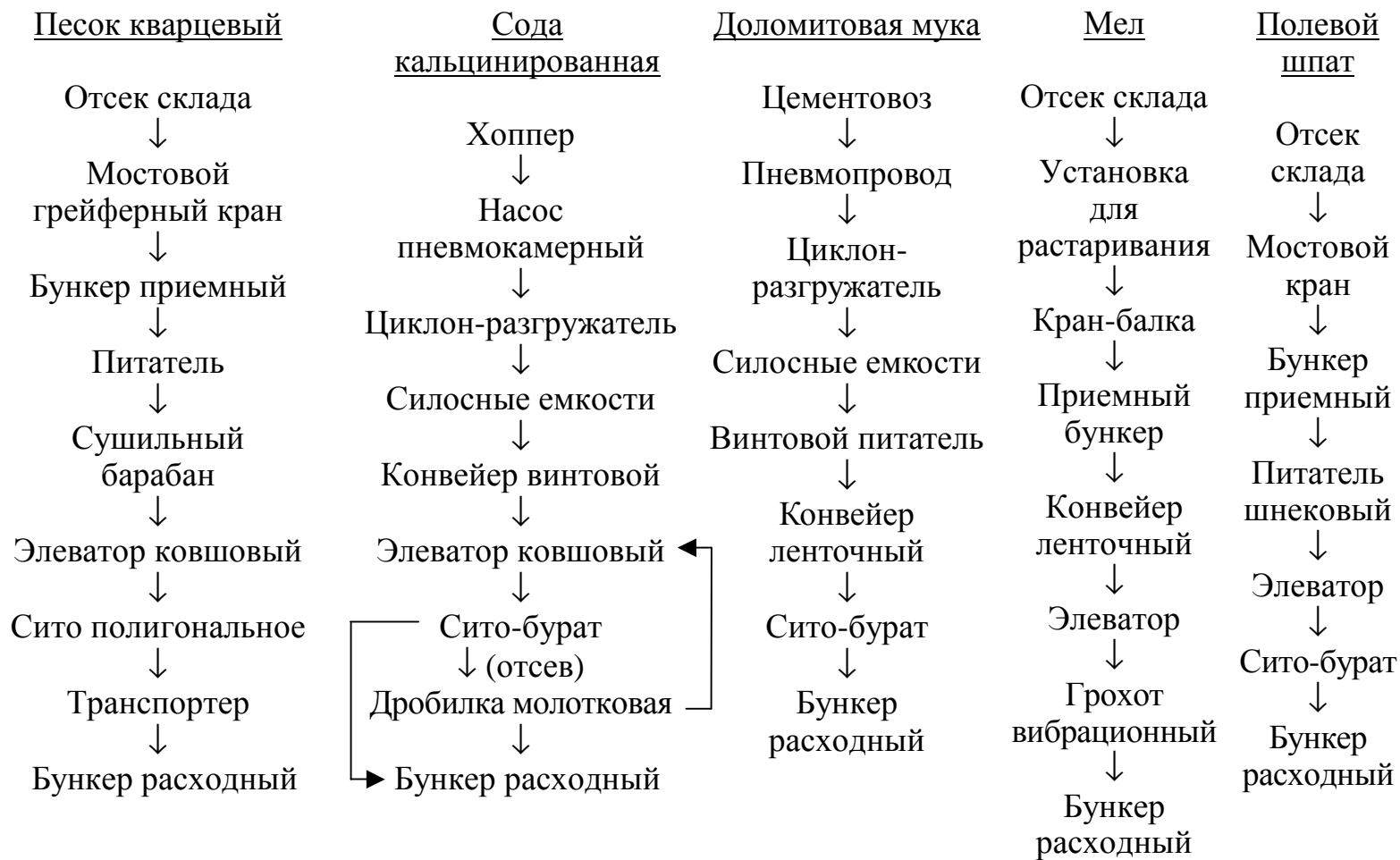
Наименование материалов	Основное вещество	Содержание компонентов, мас. %									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	Me _m O _n	п.п.п.
Барий углекислый	BaCO ₃	–	–	–	–	–	–	–	–	BaO 77,2	22,8
Барий азотнокислый	Ba(NO ₃) ₂	–	–	–	–	–	–	–	–	BaO 58,4	41,6
Борная кислота	H ₃ BO ₃	–	–	–	–	–	–	–	55,0	–	45,0
Глинозем	Al ₂ O ₃	0,46	97,9	–	0,35	–	–	–	–	–	1,29
Доломит «Руба»	MgCa(CO ₃) ₂	3,5	1,6	0,18	29,5	20,5	–	–	–	–	44,72
Известняк	CaCO ₃	1,2	0,4	0,2	54,0	0,6	–	–	–	–	43,6
Каолин обогащенный		47,4	38,3	1,0	–	0,4	1,6	1,0	–	–	10,3
Литий углекислый	Li ₂ CO ₃	–	–	–	–	–	–	–	–	Li ₂ O 40,0	60,0
Магния оксид	MgO	–	–	–	1,2	97,4	–	–	–	–	1,4
Магний углекислый	MgCO ₃	–	–	–	–	47,4	–	–	–	–	52,6
Мел Волковысского месторождения	CaCO ₃	1,2	0,6	0,1	54,3	0,6	–	–	–	–	43,0
Нефелиновый концентрат		44,7	28,4	2,67	1,4	0,59	14,1	6,07	–	–	2,07
Песок кварцевый Гомельского ГОКа	SiO ₂	99,0	0,1	0,06	0,5	–	–	–	–	–	0,34

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Окончание прил. 1

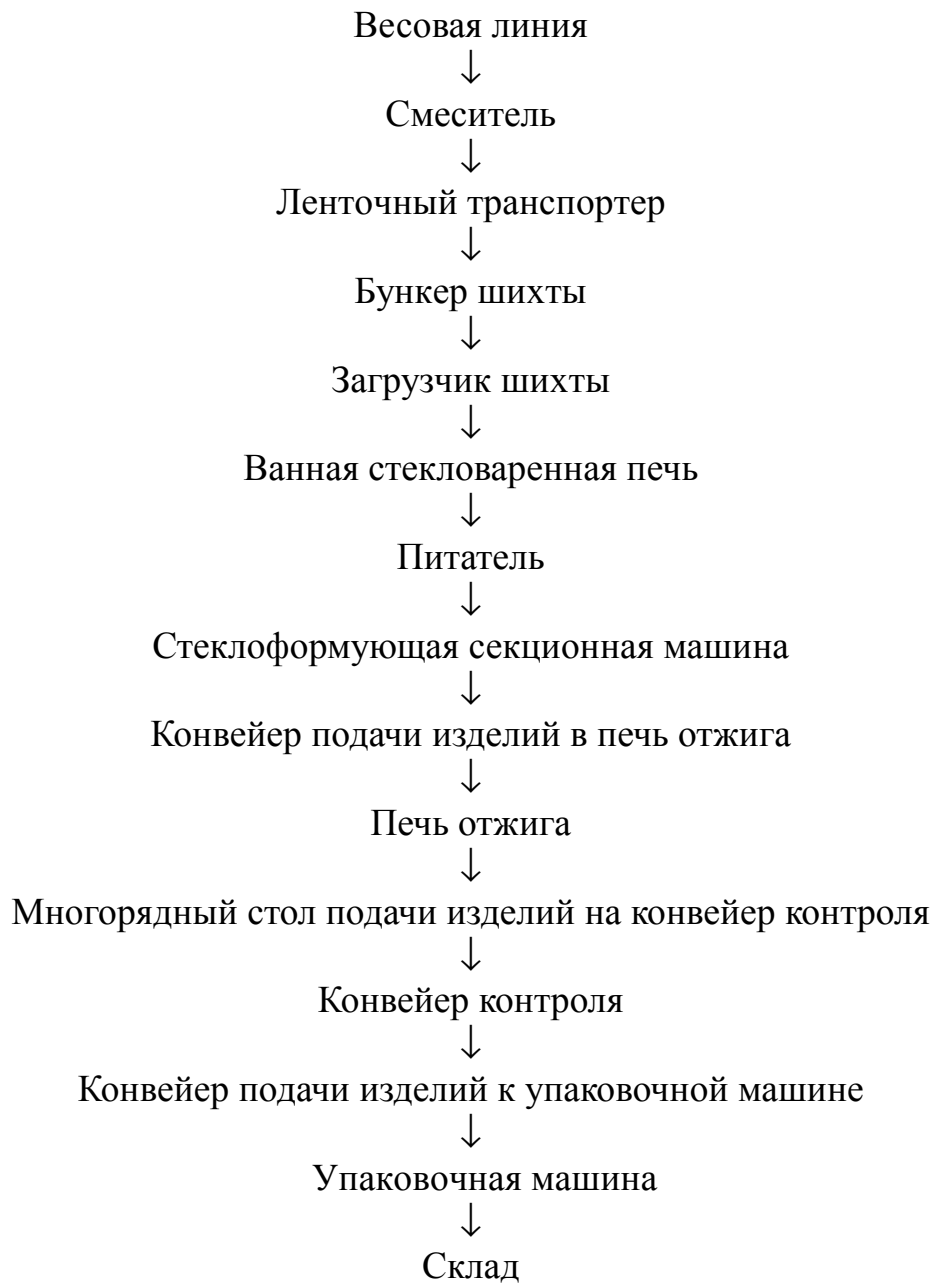
Наименование материалов	Основное вещество	Содержание компонентов, мас. %									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	Me _m O _n	п.п.п.
Песок кварцевый Новоселовского ГОКа	SiO ₂	99,4	0,3	0,02	0,1	–	–	–	–	–	0,2
Полевой шпат		60,8	22,4	0,25	–	–	8,6	6,5	–	–	1,45
Поташ	K ₂ CO ₃	–	–	–	–	–	1,2	66,0	–	–	32,8
Селитра калиевая	KNO ₃	–	–	–	–	–	–	46,3	–	–	53,7
Селитра натриевая	NaNO ₃	–	–	–	–	–	36,2	–	–	–	63,8
Сода кальцинированная	Na ₂ CO ₃	–	–	–	–	–	58,0	–	–	–	42,0
Свинцовый сурик	Pb ₃ O ₄	–	–	–	–	–	–	–	–	Pb ₃ O ₄ 99,0	–
Стронций углекислый	SrCO ₃	–	–	–	–	–	–	–	–	SrO 66,6	33,4
Сульфат натрия	Na ₂ SO ₄	–	–	–	–	–	43,4	–	–		56,6
Цинковые белила	ZnO	–	–	–	–	–	–	–	–	ZnO 98,7	1,3

Схема обработки основных сырьевых материалов



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Схема производства стеклотары



ЛИТЕРАТУРА

1. Химическая технология стекла и ситаллов / под ред. Н. М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1983. – 431 с.
2. Бобкова, Н. М. Химическая технология стекла и ситаллов: практикум / Н. М. Бобкова, Л. Ф. Папко. – Минск: БГТУ, 2005. – 196 с.
3. Бобкова, Н. М. Теоретические основы стеклообразования. Строение и свойства стекол / Н. М. Бобкова. – Минск: БГТУ, 2003. – 135 с.
4. Аппен, А. А. Химия стекла / А. А. Аппен. – Л.: Химия, 1974. – 350 с.
5. Бобкова, Н. М. Основы технологии ситаллов / Н. М. Бобкова. – Минск: БГТУ, 2004. – 67 с.
6. Технология стекла: учеб.-метод. пособие по практическим занятиям / сост. И. М. Терещенко. – Минск: БГТУ, 2006. – 76 с.
7. Левицкий, И. А. Теплотехнические установки и агрегаты предприятий производства стекла. Расчет стекловаренной печи / И. А. Левицкий, Ю. Г. Павлюкевич. – Минск: БГТУ, 2006. – 232 с.
8. Виды брака в производстве стекла / под ред. Г. Иебсена-Мерведеля, Р. Брюкнера. – М.: Стройиздат, 1986. – 647 с.
9. Панкова, Н. А. Стекольная шихта и практика ее приготовления / Н. А. Панкова, Н. Ю. Михайленко. – М.: РХТУ, 1997. – 80 с.
10. Панкова, Н. А. Теория и практика промышленного стекловарения / Н. А. Панкова, Н. Ю. Михайленко. – М.: РХТУ, 2000. – 102 с.
11. Зубанов, В. А. Механическое оборудование стекольных и ситалловых заводов / В. А. Зубанов, В. А. Чугунов, Н. А. Юдин. – М.: Машиностроение, 1984. – 367 с.
12. Гуляян, Ю. А. Технология стеклотары и сортовой посуды / Ю. А. Гуляян. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 264 с.
13. Полляк, В. В. Технология строительного и технического стекла и шлакоситаллов / В. В. Полляк, П. Д. Саркисов, В. Ф. Солинов, М. А. Царицын. – М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.
14. Гуляян, Ю. А. Технология стекла и стеклоизделий / Ю. А. Гуляян. – Владимир: Транзит-Икс, 2003. – 480 с.

15. Шаеффер, Н. А. Технология стекла / Н. А. Шаеффер, К. Х. Хойзнер. – Кишинев: «СТІ-Print», 1998. – 280 с.
16. Бондарев, К. Т. Листовое полированное стекло / К. Т. Бондарев. – М.: Стройиздат, 1978. – 167 с.
17. Стекло: справочник / под ред. Н. М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1973. – 487 с.
18. Коцик, И. Окрашивание стекла / И. Коцик, И. Небрженский, И. Фандерлик. – М.: Стройиздат, 1983. – 211 с.
19. СТП 001-2002. Проекты (работы) дипломные. Требования и порядок подготовки, представления к защите и защиты. – Минск: БГТУ, 2002. – 159 с.
20. Чехов, О. С. Вопросы экологии в стекольном производстве / О. С. Чехов. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 142 с.
21. Периодические издания: журналы «Стекло мира», «Стекло и бизнес», «Стекло и тары».

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Программа курса	4
1.1. Теоретические основы стеклообразования и строения стекла	4
1.2. Фазовое разделение в стеклах	5
1.3. Технологические свойства стекол	5
1.4. Физико-химические свойства стекол	5
1.5. Сырьевые материалы для варки стекла и их подготовка . .	7
1.6. Стекловарение	7
1.7. Формование и обработка стекла	8
1.8. Основы технологии ситаллов	9
2. Методические указания по выполнению контрольной работы	10
2.1. Выбор сырьевых материалов для варки стекла	10
2.2. Расчет шихты	14
2.2.1. Пересчет составов стекол из мольных процентов в массовые	14
2.2.2. Пересчет составов стекол из массовых процентов в мольные	15
2.2.3. Расчет шихты с использованием пропорций	15
2.2.4. Расчет шихты с использованием системы уравнений	19
.	
3. Методические указания по выполнению курсовой работы . . .	22
4. Задания для выполнения контрольной работы	26
Приложение 1	33
Приложение 2	35
Приложение 3	36
Литература	37

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СТЕКЛА И СИТАЛЛОВ

Составитель

Папко Людмила Федоровна

Редактор О. Г. Борисова

Подписано в печать 23.03.2007. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 2,4. Уч. изд. л. 2,5.
Тираж 70 экз. Заказ .

Учреждение образования

«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.