

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологии стекла и керамики

ТЕХНОЛОГИЯ ТОНКОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ

**Программа, методические указания и контрольные
задания для студентов специальности 1-48 01 01
«Химическая технология неорганических веществ,
материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 09
«Технология тонкой, функциональной и строительной
керамики» заочной формы обучения**

Минск 2013

УДК 666.3-1(0.034.4)

ББК 35.41я6

Т38

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета.

Составители:

И. А. Левицкий,

Е. М. Дятлова

Рецензент

кандидат технических наук,

доцент кафедры химической технологии вяжущих материалов,

декан заочного факультета Белорусского государственного

технологического университета

А. А. Сакович

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2013 год. Поз. 189.

Для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 09 «Технология тонкой, функциональной и строительной керамики» заочной формы обучения.

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2013

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Дисциплина «Технология тонкой и технической керамики» является специальной при подготовке студентов по специализации «Технология тонкой, функциональной и строительной керамики».

Цель изучения дисциплины – формирование инженерных знаний и обеспечение достаточной специальной подготовки студентов в области современного производства тонкой и технической керамики.

Курс основывается на фундаментальной, общенаучной и общепрофессиональной подготовке студентов после изучения дисциплин «Минералогия и кристаллография», «Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов», «Основы технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» и «Химическая технология керамики и огнеупоров» и направлен на формирование базы будущей углубленной подготовки по специализации.

Основными задачами при изучении дисциплины являются:

- ознакомление с ролью тонкой и технической керамики в народном хозяйстве и дальнейшими перспективами развития керамической технологии в Республике Беларусь и за рубежом;

- изучение современных представлений о структуре технической и тонкой керамики и важнейших свойствах керамических материалов во взаимосвязи с их строением;

- изучение основных сырьевых материалов, применяемых в производстве;

- изучение теоретических основ и технологических аспектов важнейших процессов и методов производства тонкой и технической керамики;

- ознакомление с дополнительными процессами специфических и вспомогательных производств керамических материалов;

- ознакомление с основными положениями охраны труда, противопожарной техники и охраны окружающей среды при производстве керамики.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные особенности строения тонкой и технической керамики; влияние макро- и микроструктуры на свойства керамических материалов; основные диаграммы фазового состояния систем, имеющих значение для тонкой и технической керамики; виды и основные месторождения минерального сырья для этих изделий; основные процессы и методы

керамической технологии; физико-химические основы переноса вещества при сушке и спекании, реакции в твердых фазах, покрытия по керамике различного назначения.

Студент должен уметь использовать учебную и методическую литературу, справочные данные; методы анализа процессов технологии керамического производства, определения качественного и количественного фазового состава материала на основе фазовых диаграмм многокомпонентных систем.

В результате изучения дисциплины студент должен приобрести опыт выбора рациональной технологической схемы производства заданного вида керамической продукции; замены минерального сырья различных типов в производстве при условии обеспечения заданного химического состава; прогнозирования исходных составов смесей для синтеза тонкой и технической керамики с заданными свойствами.

По учебному плану дисциплина «Технология тонкой и технической керамики» изучается в 9-м и 10-м семестрах. Объем учебной работы включает: изучение материала, как самостоятельно, так и на лекциях, практических занятиях, выполнение контрольной и курсовой работ и сдачу зачета.

Студенты-заочники изучают дисциплину в основном самостоятельно по утвержденной программе, пользуясь учебниками, учебными пособиями, технической литературой и другими источниками. Для успешной проработки и усвоения материала студенту рекомендуется вести записи в виде краткого конспекта по отдельным разделам дисциплины. После усвоения основных положений курса студент выполняет контрольную работу (в соответствии с вариантом и правилами оформления) и высылает ее на кафедру для рецензирования. Контрольная работа должна быть представлена на кафедру и прорецензирована до начала экзаменационной сессии. При выполнении работы студент может получить необходимую консультацию на кафедре у преподавателя, ведущего курс.

Во время экзаменационных сессий студенты 5 курса прослушивают лекции по дисциплине, дополнительно изучают материал на практических занятиях в объеме, предусмотренном рабочей программой курса. В 9 семестре запланировано выполнение контрольной, а в 10 семестре – курсовой работы, направленной на приобретение навыков анализа литературы, технологических расчетов, выбора и обоснования рациональных технологических процессов для получения тонкой и технической керамики. Глубокое понимание взаимосвязи между свойствами исходных материалов, параметрами технологического процесса, структурой

и свойствами готовых изделий, способность анализировать происходящие в материалах физико-химические процессы являются основой для дальнейшего совершенствования технологии керамического производства подготовленными специалистами.

Сведения о новейших достижениях в области исследования и технологии производства тонкой и технической керамики студенты могут получить дополнительно при ознакомлении с периодическими изданиями: журналами «Стекло и керамика», «Огнеупоры и техническая керамика», «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі», реферативным журналом «Химия», раздел «Силикатные материалы».

Для контроля знаний, полученных при изучении курса, учебным планом предусмотрены собеседование по контрольной работе (10 семестр), зачет (10 семестр), защита курсовой работы (11 семестр).

2. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Часть 1. Тонкая керамика

Раздел 1. Классификация изделий тонкой керамики. Исторические аспекты возникновения и развития производства тонкой керамики. Производство изделий тонкой керамики в Республике Беларусь, ближнем и дальнем зарубежье.

Фарфор и его разновидности; твердый, мягкий и костяной фарфор. Полуфарфор и низкотемпературный фарфор (витриес-чайна). Специальные типы фарфоровидной керамики. Циркониевый, литий-содержащий, бериллиевый фарфор. Фарфор для стоматологии.

Фаянс и его разновидности. Майоликовые изделия. Тонкокаменные изделия. Гончарная керамика.

Раздел 2. Основные свойства тонкой керамики. Белизна и просвечиваемость. Плотность, пористость, водопоглощение. Механические свойства. Термостойкость и ТКЛР. Химическая устойчивость. Структура и текстура тонкой керамики, фазовый состав.

Раздел 3. Технологический процесс производства твердого фарфора. **3.1. Составы масс для производства твердого фарфора.** Глинистое сырье, отощители и плавни, применяемые в производстве. Подготовка сырьевых материалов, приготовление шликерных масс. Получение литьевого шликера, обеспечение его технологических характеристик. Получение формовочных пластических масс. Процессы вылеживания и вакуумирования. Получение порошков для полусухого прессования изделий.

3.2. Формование полуфабриката изделий пластическим способом и способы, применяемые для получения изделий различного ассортимента. Особенности формования плоского ассортимента. Формование корпусных плоских изделий. Формование крупных корпусных полых изделий. Полусухое прессование. Дефекты формования.

3.3. Литье изделий из водных шликеров. Способы литья полуфабриката. Приставка элементов (ручек, носиков и др.). Дефекты изделий при процессе литья.

3.4. Сушка и утильный обжиг полуфабрикатов. Сушка полуфабриката изделий. Особенности режимов для изделий различного ассортимента и методов изготовления.

Утильный обжиг полуфабриката. Процессы, протекающие при утильном обжиге. Фуксиновый контроль.

3.5. Глазури и глазурование полуфабриката фарфоровых изделий. Составы глазурей для фарфора. Влияние состава глазурей на качество продукции. Сырьевые материалы и приготовление глазурей.

Нанесение глазурного покрытия различного ассортимента. Дефекты глазурного покрытия.

3.6. Политой обжиг фарфора. Заборка и садка в печи изделий различного ассортимента. Назначение и сущность обжига. Процессы, протекающие при обжиге. Стадии обжига. Особенности скоростного обжига. Дефекты политого обжига фарфора. Сортировка и маркировка фарфора-белья.

3.7. Декорирование фарфора. Подглазурные краски для декорирования фарфора. Декорирование подглазурными керамическими красками, препаратами благородных металлов. Методы декорирования: рельефный и гладкий декоры. Ручная роспись, декорирование аэрографией, печатью, шелкографией, штампом, декалькоманией.

3.8. Обжиг декорированных изделий. Дефекты декорированного фарфора. Сортировка, шлифовка, полировка изделий. Сортировка, маркировка и упаковка продукции.

3.9. Приготовление жижеля, глиноземистых масс, промазок и ангобов для огнеупорного припаса. Технологические режимы получения, хранения и применения.

3.10. Огнеупорный припас, применяемый в производстве фарфоровых изделий, и требования, предъявляемые к нему.

Раздел 4. Мягкий фарфор. Особенности технологии производства мягкого фарфора (костяного, полевошпатового, фриттованного). Составы масс и глазурей, применяемых в производстве. Технологические режимы изготовления, сушки, обжига, декорирования.

Раздел 5. Полуфарфор и низкотемпературный фарфор. Технологический процесс производства изделий из полуфарфора и низкотемпературного фарфора. Составы масс, особенности получения продукции: изготовление полуфабриката, сушка, обжиг, декорирование. Дефекты производства.

Раздел 6. Фаянс. Технологический процесс производства фаянсовых изделий хозяйственно-бытового назначения. Составы масс, особенности получения продукции: изготовление полуфабриката, сушка, обжиг, декорирование. Дефекты производства фаянса.

Раздел 7. Производство тонкокаменных изделий. Ангобы, применяемые для декорирования изделий. Особенности составов масс,

процессов изготовления полуфабриката изделий, сушки, обжига, глазурирования.

Раздел 8. Производство майоликовых изделий. Особенности составов масс и глазурей, процессов приготовления масс, получения полуфабриката, сушки, обжига, декорирования.

Раздел 9. Производство гончарной керамики. Составы масс, ангобов, глазурей. Полиминеральное глинистое сырье, используемое в производстве. Технологические режимы производства изделий, особенности режимов формования, сушки, обжига. Декорирование изделий ангобами и глазурями.

Раздел 10. Тонкая керамика как декоративно-прикладное искусство. Экспонаты музеев мира и предметы антиквариата. Фарфор Мейсена, веджвудский фарфор. Ивенецкая и порозовская керамика, фарфор Гжели, Дулева, Санкт-Петербурга (императорский), керамика г. п. Радошковичи, фаянс из г. Канакова (Россия), латгальская керамика. Керамика Украины, Молдовы, Средней Азии – национальные особенности форм и декора.

Часть 2. Техническая керамика

Введение.

Раздел 1. Основные (определяющие) свойства и значение технической керамики для современной техники, классификация технической керамики. Классификация технической керамики по фазовому составу и областям применения. Основные и специфические свойства технической керамики. Отличительные особенности технологического процесса производства технической керамики (сверхтонкое измельчение материалов, химические методы подготовки масс, введение технологических связей, методы формования, процессы спекания, металлизации и механической обработки).

Раздел 2. Электротехнический фарфор. Классификация электротехнического фарфора по рабочему электрическому напряжению, конструкции и химическому составу. Требования к изделиям из электрофарфора. Сырьевые материалы. Технологический процесс производства изделий. Современные методы формования, сушки и обжига крупногабаритных фарфоровых изоляторов.

Раздел 3. Керамика на основе огнеупорных оксидов. Виды, свойства и применение изделий из оксидной керамики. Корундовая керамика (на основе Al_2O_3). Свойства, исходные материалы, технология

производства. Другие виды оксидной керамики (на основе ZrO_2 , Y_2O_3 , BeO , SiO_2 , UO_2), их основные свойства и применение. Техника безопасности при работе с токсичными и радиоактивными оксидами.

Раздел 4. Техническая керамика на основе силикатов, алюмосиликатов и других сложных оксидных соединений. Химический, фазовый состав и свойства клиноэнстатитовой, форстеритовой, муллитовой, кордиеритовой, цельзиановой и сподуменово-вой керамики. Области применения. Основные сырьевые материалы, используемые для их производства. Особенности технологического процесса производства. Получение изделий по одностадийной и двухстадийной технологиям. Применяемые временные связи и способы их удаления.

Раздел 5. Керамика на основе титанатов и других соединений с высокой диэлектрической проницаемостью. Физико-химические аспекты поляризации керамики. Основные диэлектрические характеристики, сегнето-свойства и пьезоэффект. Конденсаторная керамика на основе диоксида титана, титанатов, цирконатов, станнатов, металлов и их твердых растворов. Сегнето- и пьезоэлектрическая керамика. Твердые растворы цирконатов – титанатов свинца. Основные характеристики. Исходные материалы. Особенности технологии производства керамики с магнитными свойствами. Ферромагнитная керамика. Свойства, области применения, исходные материалы и основы технологии получения. Меры по охране труда и окружающей среды при производстве керамики, содержащей оксиды тяжелых металлов.

Раздел 6. Керамика на основе неокислородных высокоогнеупорных соединений. Классификация по виду аниона и структуре. Свойства неокислородной керамики, области применения. Карбидная, нитридная, силицидная, боридная керамика. Получение исходных материалов и методы изготовления изделий. Применяемые связующие. Особенности режимов обжига изделий из неокислородных соединений.

Керамика из оксикарбидов, оксинитридов; сиалоны, симоны. Особенности синтеза соединений и области применения изделий из них.

Раздел 7. Пористая проницаемая керамика для получения фильтров для очистки жидких и газообразных сред. Требования, предъявляемые к фильтрам. Керамические наполнители. Влияние зернового состава наполнителя на пористость и проницаемость керамики. Связующие материалы. Технология получения керамических фильтров.

Раздел 8. Керамические покрытия на различные подложки. Назначение, методы нанесения покрытий (газопламенное, детонационное, плазменное нанесение суспензий с последующей термообработкой).

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Расчет минерального состава сырьевых материалов и масс по химическому составу

Сырье, используемое в керамической промышленности, как правило, является полиминеральным. Даже лучшие разновидности каолинов и огнеупорных глин наряду с глинистыми минералами содержат примеси полевых шпатов, кварца и др. Пегматиты состоят из собственно полевых шпатов, кварца и в небольших количествах содержат различные примесные минералы, например, слюды и другие второстепенные минералы. Полевые шпаты также полиминеральны и могут состоять из альбита, ортоклаза (микроклина) и примеси анортита.

При расчете минерального состава глинистого сырья, а также шихты керамических масс обычно определяют содержание глинистых минералов, полевых шпатов и кварца. Если в массе содержатся другие минералы (циркон $ZrO_2 \cdot SiO_2$, доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, мел $CaCO_3$ и др.), при минеральном анализе их можно выделить как самостоятельные компоненты.

Пример 1. Определить минеральный состав огнеупорной глины по ее химическому составу: $SiO_2 - 59,03$; $Al_2O_3 - 28,2$; $Fe_2O_3 - 1,16$; $TiO_2 - 0,54$; $CaO - 0,36$; $MgO - 0,37$; $K_2O - 0,68$; $Na_2O - 0,19$; п.п.п. 9,47.

Так как глины состоят из глинистых минералов, полевых шпатов, кварца и примесей, то определение минерального состава заключается в нахождении количественного содержания вышеназванных минералов.

Расчет начинают с второстепенных минералов.

По содержанию Na_2O и K_2O в глинистом сырье определяется содержание полевых шпатов – альбита и ортоклаза.

Молекулярная масса:

альбита $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524,4;
ортоклаза $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,7;
Na_2O	61,98;
K_2O	94,2.

В соответствии с молекулярным составом полевых шпатов составляются пропорции:

$$524,4_{\text{альб}}^1 - 61,98 \text{ Na}_2\text{O};$$

$$X_{\text{альб}} - 0,19 \text{ Na}_2\text{O}.$$

$$556,7_{\text{орт}}^2 - 94,2 \text{ K}_2\text{O};$$

$$X_{\text{орт}} - 0,68 \text{ K}_2\text{O}.$$

Так как в приведенном конкретном составе содержание R_2O в целом невелико, а содержание Na_2O значительно меньше содержания K_2O , то можно определять содержание одного из полевых шпатов по сумме R_2O – в данном случае ортоклаза – по преимущественному содержанию K_2O .

$$\sum \text{R}_2\text{O} = 0,68 + 0,19 = 0,87 \text{ м. ч.}^3$$

$$\frac{M_{\text{K}_2\text{O}}}{M_{\text{орт}}} = \frac{0,87}{X_{\text{орт}}}; \frac{94,2}{556,7} = \frac{0,87}{X_{\text{орт}}}; X_{\text{орт}} = 5,14 \text{ м. ч.}$$

Далее рассчитывается содержание в полевом шпате Al_2O_3 и SiO_2 :

$$556,7_{\text{орт}} - 101,96 \text{ Al}_2\text{O}_3;$$

$$5,14_{\text{орт}} - X_{\text{Al}_2\text{O}_3};$$

$$X_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0,94 \text{ м. ч.}$$

$$556,7_{\text{орт}} - 360,54 \text{ SiO}_2;$$

$$5,14_{\text{орт}} - X_{\text{SiO}_2};$$

$$X_{\text{SiO}_2} = 3,33 \text{ м. ч.}$$

В глине осталось Al_2O_3 : $28,2 - 0,94 = 27,26 \text{ м. ч.}$

Так как основным глинистым минералом в огнеупорных глинах является каолинит, то продолжение расчета ведется по каолиниту. В соответствии с точным количеством Al_2O_3 рассчитывается содержание в глине каолинита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, молекулярная масса $M_{\text{каоол}} = 258,1$:

$$\frac{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{M_{\text{каоол}}} = \frac{27,26}{X_{\text{каоол}}}; X_{\text{каоол}}^4 = \frac{258,1 \cdot 27,26}{101,96} = 69,00 \text{ м. ч.}$$

С этим содержанием каолинита связано следующее количество SiO_2 :

¹ альб – альбит

² орт – ортоклаз

³ м. ч. – массовые части

⁴ каол – каолинит

$$258,1_{\text{каолин}} - 120,18 \text{ SiO}_2;$$

$$69,00_{\text{каолин}} - X_{\text{SiO}_2};$$

$$X_{\text{SiO}_2} = 32,13 \text{ м. ч.}$$

Свободный кремнезем (кварц) определяется по разности между общим количеством кремнезема в глине и количеством кремнезема, связанного в полевом шпате и каолините:

$$59,03 - 3,33 - 32,13 = 23,57 \text{ м. ч.}$$

Ввиду того, что в тонкой керамике не применяются глины и каолин со значительным содержанием других оксидов (Fe_2O , TiO_2 , CaO , MgO), количество минералов, содержащих указанные оксиды, не рассчитывается.

В соответствии с расчетами минеральный состав огнеупорной глины будет следующим, м. ч.:

полевого шпата	5,14;
каолинит	69,00;
кварц	23,37;
<i>всего</i>	97,71.

Так как в данном примере расчет производился на 100 м. ч. огнеупорной глины, то массовые части соответствуют процентам.

Неучтенные (примесные) минералы определяют вычитанием из ста процентов суммарного содержания всех основных и второстепенных минералов в породе:

$$100\% - 97,71\% = 2,29\%.$$

Таким образом, окончательный минеральный состав огнеупорной глины, %: каолинит – 69, полевой шпат – 5,14, кварц – 23,57, неучтенные минералы – 2,29.

Пример 2. Определить минеральный состав керамической массы, имеющей следующий шихтовой состав, мас. %: глина огнеупорная – 8,40, каолин – 37,6, полевой шпат – 24,4, песок кварцевый – 23,6, бой изделий – 6.

При расчете минерального состава массы определяют содержание вводимых минералов каждым сырьевым компонентом в массе в соответствии с его минералогическим составом и процентным содержанием.

Химический состав применяемых сырьевых материалов приведен в табл. 1.

Химический состав сырьевых материалов

Компонент	Оксиды и их содержание, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п.	Σ
Глина огнеупорная	59,03	28,20	1,16	0,54	0,36	0,37	0,68	0,19	9,47	100
Каолин	49,74	36,46	0,88	–	0,70	0,40	0,19	0,05	11,58	100
Полевой шпат	67,36	18,74	0,16	–	0,28	0,32	3,55	9,06	0,53	100
Кварцевый песок	98,13	1,26	–	0,10	–	–	–	–	0,51	100

При расчете из состава массы исключается бой изделий, так как его химический состав совпадает с химическим составом обогащенной массы, и состав снова приводится к ста процентам. В итоге имеем следующий состав массы, %: глина огнеупорная – 9,0, каолин – 40,0, полевой шпат – 26,0, кварцевый песок – 25,0.

Аналогично приведенному выше расчету сначала определяется минеральный состав сырьевых компонентов, а затем минеральный состав массы.

Расчет минерального состава глины приведен в примере 1 выше.

Аналогично рассчитывается минеральный состав каолина.

Содержание полевого шпата (по сумме R₂O):

$$\sum R_2O = 0,19 + 0,05 = 0,24 \text{ м. ч.}$$

$$\frac{94,2}{556,7} = \frac{0,24}{X_{\text{орт}}}; X_{\text{орт}} = 1,42 \text{ м. ч.}$$

Содержание вводимых с полевым шпатом оксидов:

$$556,7_{\text{орт}} - 101,96 \text{ Al}_2\text{O}_3;$$

$$1,42_{\text{орт}} - X_{\text{Al}_2\text{O}_3};$$

$$X_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0,26 \text{ м. ч.}$$

$$556,7_{\text{орт}} - 360,54 \text{ SiO}_2;$$

$$1,42_{\text{орт}} - X_{\text{SiO}_2};$$

$$X_{\text{SiO}_2} = 0,92 \text{ м. ч.}$$

Содержание каолинита (по остаточному Al_2O_3).

$$\text{Al}_2\text{O}_3: 36,46 - 0,26 = 36,2 \text{ м. ч.}$$

$$\frac{101,96}{258,1} = \frac{36,2}{X_{\text{каоол}}}; X_{\text{каоол}} = 91,64 \text{ м. ч.}$$

$$258,1_{\text{каоол}} - 120,18 \text{ SiO}_2;$$

$$91,64_{\text{каоол}} - X_{\text{SiO}_2};$$

$$X_{\text{SiO}_2} = 42,67 \text{ м. ч.}$$

Содержание кварца (по остаточному SiO_2).

$$\text{SiO}_2: 49,74 - 0,92 - 42,67 = 6,15 \text{ м. ч.}$$

В итоге получен следующий минеральный состав каолина, %:

полевой шпат	1,42;
каолинит	91,64;
кварц	6,15;
неучтенные минералы	0,79;
<i>всего</i>	100,00.

Расчет минерального состава полевого шпата.

Содержание альбита ($\text{Na}_2\text{O} = 9,06 \text{ м. ч.}$):

$$\frac{61,98}{524,4} = \frac{9,06}{X_{\text{альб}}}; X_{\text{альб}} = 76,65 \text{ м. ч.}$$

Содержание ортоклаза ($\text{K}_2\text{O} = 3,55 \text{ м. ч.}$):

$$\frac{94,2}{556,7} = \frac{3,55}{X_{\text{орт}}}; X_{\text{орт}} = 20,98 \text{ м. ч.}$$

Общее количество полевого шпата $76,65 + 20,98 = 97,63 \text{ м. ч.}$

Содержание вводимых альбитом и ортоклазом оксидов Al_2O_3 и SiO_2 :

$$524,4_{\text{альб}} - 101,96 \text{ Al}_2\text{O}_3;$$

$$76,65_{\text{альб}} - X_{\text{Al}_2\text{O}_3};$$

$$X_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 14,9 \text{ м. ч.}$$

$$556,7_{\text{орт}} - 101,96 \text{ Al}_2\text{O}_3;$$

$$20,98_{\text{орт}} - X_{\text{Al}_2\text{O}_3};$$

$$X_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 3,84 \text{ м. ч.}$$

$$524,4_{\text{альб}} - 360,54 \text{ SiO}_2;$$

$$76,65_{\text{альб}} - X_{\text{SiO}_2};$$

$$X_{\text{SiO}_2} = 52,70 \text{ м. ч.}$$

$$556,7_{\text{орт}} - 360,54 \text{ SiO}_2;$$

$$20,98_{\text{орт}} - X_{\text{SiO}_2};$$

$$X_{\text{SiO}_2} = 13,59 \text{ м. ч.}$$

$$\sum \text{Al}_2\text{O}_3 = 14,9 + 3,84 = 18,74 \text{ м. ч.}$$

$$\sum \text{SiO}_2 = 52,70 + 13,59 = 66,29 \text{ м. ч.}$$

Содержание кварца (по остаточному SiO_2).

$$\text{SiO}_2: 67,36 - 66,29 = 1,07 \text{ м. ч.}$$

В итоге получаем следующий минеральный состав, %:

полевой шпат	97,63;
кварц	1,07;
неучтенные минералы	1,30;
<i>всего</i>	100,00.

Расчет минерального состава кварцевого песка.

По присутствию в химическом составе кварцевого песка Al_2O_3 предполагается:

1) наличие каолинита:

$$\frac{101,96}{258,1} = \frac{1,26}{X_{\text{каоил}}}; X_{\text{каоил}} = 3,19 \text{ м. ч.};$$

2) содержание вводимого с каолинитом SiO_2 :

$$258,1_{\text{каоил}} - 120,18 \text{ SiO}_2;$$

$$3,19_{\text{каоил}} - X_{\text{SiO}_2};$$

$$X_{\text{SiO}_2} = 1,49 \text{ м. ч.};$$

3) содержание кварца (по остаточному SiO_2):

$$\text{SiO}_2: 98,13 - 1,49 = 96,64 \text{ м. ч.}$$

В итоге получаем следующий минеральный состав кварцевого песка, %:

кварц	96,64;
каолинит	3,19;

неучтенные минералы 0,17;
 всего 100,00.

Результаты полученных расчетов минерального состава сырьевых материалов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Минеральный состав сырья и керамической массы

Сырьевые компоненты	Шихтовой состав, %	Минеральный состав сырьевых материалов, %				Минеральный состав керамической массы, %			
		полевой шпат	каолинит	кварц	неучтенные минералы	полевой шпат	каолинит	кварц	неучтенные минералы
Глина огнеупорная	9	5,14	69,00	23,50	2,29	0,46	6,21	2,11	0,21
Каолин	40	1,42	91,64	6,15	0,79	0,57	36,66	2,46	0,32
Полевой шпат	26	97,63	–	1,07	1,30	25,38	–	0,28	0,34
Кварцевый песок	25	–	3,19	96,64	0,17	–	0,80	24,16	0,04
Минеральный состав массы	100	–	–	–	–	26,41	43,67	29,01	0,91

3.2. Расчет шихтовых составов масс по минеральному и химическому составу

Во многих случаях в технологических расчетах приходится определять составы сырьевых шихт при использовании различных сырьевых материалов, но при сохранении минерального состава шихты либо химического состава массы.

3.2.1. Расчет шихтового состава массы по ее минеральному составу

Пример 3. Дан минеральный состав полуфарфоровой массы, %: каолинит – 53,2; полевой шпат – 16,0; кварц – 29,3; прочие минералы – 1,5.

Требуется определить количество сырьевых компонентов в массе. В качестве сырьевых материалов принять огнеупорную глину, каолин, полевой шпат, кварцевый песок.

Минеральный состав сырьевых материалов приведен выше в табл. 2. На основании керамических свойств сырья задается определенное содержание глинистых в массе.

Принимаем, что 15 м. ч. глинистого вещества вводится в виде каолина, а оставшиеся – огнеупорной глины.

Определяется количество минералов, вводимых в состав массы с каолином:

полевого шпат $1,42 \cdot 0,15 = 0,21$ м. ч.;

каолинит $91,64 \cdot 0,15 = 13,75$ м. ч.;

кварц $6,15 \cdot 0,15 = 0,92$ м. ч.;

неучтенные минералы $0,79 \cdot 0,15 = 0,12$ м. ч.

Количество огнеупорной глины определяется по остаточному каолиниту.

Всего в массе должно быть 53,2 каолинита, с каолином введено 13,75 м. ч. Остается добавить $53,2 - 13,75 = 39,45$ м. ч.

В соответствии с минеральным составом глины:

100 глины – 69 каолинита;

$X_{\text{глины}} = 39,45$;

$X_{\text{глины}} = 57,18$ м. ч.

С глиной в состав массы вводятся:

полевого шпат $5,14 \cdot 0,5718 = 2,94$ м. ч.;

кварц $23,57 \cdot 0,5718 = 13,48$ м. ч.;

неучтенные минералы $2,29 \cdot 0,5718 = 1,31$ м. ч.

С глиной и каолином введено:

полевого шпата $0,21 + 2,94 = 3,15$ м. ч.;

кварца $0,92 + 13,48 = 14,4$ м. ч.;

неучтенных минералов $0,12 + 1,31 = 1,43$ м. ч.

Количество не введенного чистого минерала полевого шпата в массе составит $16 - 3,15 = 12,85$ м. ч. Недостаток будет компенсирован природным полевым шпатом, компонентом шихты.

В $100_{\text{пол. шп}}^5 - 97,63$ минерала;

$X_{\text{пол. шп}} = 12,85$;

$X_{\text{пол. шп}} = 13,16$ м. ч.

С полевым шпатом введено:

кварца $13,16 \cdot 0,0107 = 0,14$ м. ч.;

неучтенных минералов $13,16 \cdot 0,013 = 0,17$ м. ч.

Общее количество кварца в массе – 29,3 м. ч.

С каолином, глиной и полевым шпатом в состав массы введено кварца: $0,92 + 13,48 + 0,14 = 14,54$ м. ч.

⁵ пол. шп – полевого шпат

Оставшееся, требующее дополнительного ввода количество кварца составит $29,3 - 14,54 = 14,76$ м. ч.

$$100_{\text{кв. песка}}^6 - 96,64 \text{ SiO}_2;$$

$$X_{\text{кв. песка}} - 14,76;$$

$$X_{\text{кв. песка}} = 15,27 \text{ м. ч.}$$

С кварцевым песком в состав шихты будет введено:

$$100_{\text{кв.песка}} - 3,19 \text{ каолинита};$$

$$15,27 - X_{\text{каоол}};$$

$$X_{\text{каоол}} = 0,49 \text{ м. ч.}$$

В связи с тем, что с кварцевым песком вводится каолинит, необходимо учесть его и уточнить содержание глины.

Количество каолинита, вводимое с глиной, должно быть:

$$39,45 - 0,49 = 38,96 \text{ м. ч.}$$

Содержание глины в шихте составит:

$$100 \text{ глины} - 69 \text{ каолинита};$$

$$X_{\text{глины}} - 38,96;$$

$$X_{\text{глины}} = 56,46 \text{ м. ч.}$$

С глиной в шихту войдут:

$$\text{полевоы шпат } 5,14 \cdot 0,5646 = 2,90 \text{ м. ч.};$$

$$\text{кварц } 23,57 \cdot 0,5646 = 13,31 \text{ м. ч.};$$

$$\text{неучтенные минералы } 2,29 \cdot 0,564 = 1,29 \text{ м. ч.}$$

Как видно из приведенного расчета, изменение минерального состава незначительно и им можно пренебречь, т. е. поправку на примесные минералы, которые вошли с глиной, не учитывать.

Таким образом, шихтовой состав массы, обеспечивающий требуемый минеральный состав, будет следующим:

$$\text{каолин } 15 \text{ м. ч.} \quad \approx 15,0\%;$$

$$\text{глина огнеупорная } 56,46 \text{ м. ч.} \quad \approx 56,5\%;$$

$$\text{полевоы шпат } 13,16 \text{ м. ч.} \quad \approx 13,2\%;$$

$$\text{кварцевый песок } 15,27 \text{ м. ч.} \quad \approx 15,3\%;$$

$$\text{всего } 99,89 \text{ м. ч.} \quad \approx 100,0\%.$$

Проверку полученных результатов можно представить в виде табл. 3.

⁶ кв. песка – кварцевого песка

Результаты расчета шихтового состава массы

Сырьевые компоненты	Состав шихты, %	Минеральный состав шихты, %			
		каолинит	полевого шпат	кварц	примесные минералы
Каолин	15,0	$91,64 \cdot 0,15 = 13,75$	$1,42 \cdot 0,15 = 0,21$	$6,15 \cdot 0,15 = 0,92$	$0,79 \cdot 0,15 = 0,12$
Огнеупорная глина	56,5	$69 \cdot 0,565 = 38,99$	$5,14 \cdot 0,565 = 2,90$	$23,57 \cdot 0,565 = 13,32$	$2,29 \cdot 0,565 = 1,29$
Полевой шпат	13,2	–	$97,63 \cdot 0,132 = 12,89$	$1,07 \cdot 0,132 = 0,14$	$1,3 \cdot 0,132 = 0,17$
Кварцевый песок	15,3	$3,19 \cdot 0,153 = 0,49$	–	$96,64 \cdot 0,153 = 14,78$	$0,17 \cdot 0,153 = 0,03$
Всего	100	53,23	16,00	29,16	1,61

3.2.2. Расчет шихтового состава фарфоровой массы методом последовательных приближений (итерацией)

Данная методика используется для полиминеральных керамических масс.

Пример 4. Дан минеральный состав фарфора, %: каолинита – 50, полевого шпата – 25, кварца – 25, и минеральный состав сырьевых материалов, приведенный в табл. 4.

Таблица 4

Минеральный состав сырьевых материалов

Сырьевой компонент	Минералы и их содержание, %		
	каолинит	кварц	полевого шпат
Каолин	92,1	4,9	3,0
Кварц	2,8	94,9	2,3
Пегматит	5,7	38,1	56,2

Необходимо рассчитать шихтовой состав массы.

Для решения задачи составим систему уравнений:

$$\begin{cases} 92,1x + 2,8y + 5,7z = 100 \cdot 50, & (1) \\ 4,9x + 94,9y + 38,1z = 100 \cdot 25, & (2) \\ 3x + 2,3y + 56,2z = 100 \cdot 25, & (3) \end{cases}$$

где x – содержание каолинита в массе, %; y – содержание кварца в массе, %; z – содержание полевого шпата в массе, %.

Решая систему уравнений, принимаем, что x_1, y_1, z_1 – первые приближенные величины для x, y и z ; x_2, y_2, z_2 – вторые приближенные величины для x, y и z ; x_3, y_3, z_3 – третьи приближенные величины для x, y и z .

Тогда, приняв в уравнении (1) значения y и z равными нулю, получим:

$$\begin{aligned}92,1x &= 5000; \\ x &= 5000 / 92,1 = 54,3.\end{aligned}$$

При $x = x_1$ получим $x_1 = 54,3$.

В уравнении (2) примем z равным нулю, а вместо x подставим x_1 :

$$\begin{aligned}4,9x + 94,9y &= 2500; \\ y &= (2500 - 4,9x_1) / 94,9 = (2500 - 4,9 \cdot 54,3) / 94,9 = 23,6.\end{aligned}$$

При $y = y_1$ получим $y_1 = 23,6$.

Подставив в уравнение (3) вместо x и y приближенные величины x_1 и y_1 , получим:

$$3x_1 + 2,3y_1 + 56,2z = 2500.$$

Затем вычислим z_1 :

$$\begin{aligned}z_1 &= (2500 - 3x_1 - 2,3y_1) / 56,2; \\ z_1 &= (2500 - 3 \cdot 54,3 - 2,3 \cdot 23,6) / 56,2 = 33,7.\end{aligned}$$

В уравнении (1) вместо y и z подставим y_1 и z_1 :

$$92,1x + 2,8 \cdot 23,6 + 5,7 \cdot 33,7 = 5000.$$

При $x = x_2$ получим $x_2 = 51,4$.

Подставив в уравнение (2) вместо x и z величины x_2 и z_1 , получим:

$$4,9 \cdot 51,4 + 94,9y + 38,1 \cdot 33,7 = 2500.$$

При $y = y_2$ получим $y_2 = 10,2$.

Подставив в уравнение (3) вместо x и y величины x_2 и y_2 , получим:

$$3 \cdot 51,4 + 2,3 \cdot 10,2 + 56,2z = 2500.$$

При $z = z_2$ получим $z_2 = 41,3$.

Аналогично произведем вычисления третьего итерационного процесса. В результате вычислений получим $x_3 = 51,4$; $y_3 = 7,1$; $z_3 = 41,6$.

Суммируем полученные результаты:

$$x_3 + y_3 + z_3 = 51,4 + 41,6 + 7,1 = 100,1.$$

Итерационные вычисления производим до тех пор, пока не получим удовлетворительные результаты расчета шихтового состава массы. Если принять $y_3 = 7,1 \approx 7$, расчет можно считать окончанным. Шихтовой состав фарфора будет следующим, %: каолина – 51,4; пегматита – 41,6; кварца – 7.

3.2.3. Расчет шихтового состава массы по ее химическому составу

Пример 5. Рассчитать шихтовой состав керамической массы по ее химическому составу, мас. %: SiO_2 – 71,65; Al_2O_3 – 23,48; Fe_2O_3 – 0,56; MgO – 0,40; CaO – 0,54; Na_2O – 1,22; K_2O – 1,80.

В качестве сырьевых материалов использовать глину огнеупорную, каолин, полевой шпат и кварцевый песок, химический состав которых приведен в табл. 5.

Таблица 5

Химический состав компонентов

Компоненты	Оксиды и их содержание, %								
	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	п.п.п.
Каолин	49,80	34,56	0,37	0,50	0,42	0,32	1,00	0,43	12,40
Глина огнеупорная	54,13	30,74	0,64	0,92	0,71	0,67	2,17	0,92	9,10
Полевой шпат	66,69	17,30	–	0,11	0,55	0,10	10,70	4,20	0,35
Кварцевый песок	97,80	0,90	–	0,48	0,32	–	–	–	0,50

Исходя из формовочных свойств керамической массы, задается определенное количество глины. Затем рассчитывается количество оксидов, введенных глиной. При расчете пренебрегают содержанием CaO , MgO , Fe_2O_3 и TiO_2 , так как они являются сопутствующими примесями.

Принимаем количество глины в массе примерно равным 30 м. ч.

С глиной будет введено:

SiO_2 : $54,13 \cdot 0,3 = 16,24$ м. ч.;

Al_2O_3 : $30,74 \cdot 0,3 = 9,22$ м. ч.;

$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$: $(2,17 + 0,92)0,3 = 0,93$ м. ч.

Остальное количество оксидов согласно заданному составу массы вводят с другими компонентами.

Требуется ввести в массу, м. ч.:

$$\text{SiO}_2: 71,65 - 16,24 = 55,41;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3: 23,48 - 9,22 = 14,26;$$

$$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}: 1,22 + 1,8 - 0,93 = 2,09.$$

Оставшееся количество щелочей ($\sum \text{R}_2\text{O}$) и Al_2O_3 будет введено с каолином и полевым шпатом (количеством Al_2O_3 , введенным кварцевым песком, пренебрегают).

Для определения содержания в массе этих материалов составляют и решают систему уравнений с двумя неизвестными

$$\begin{cases} 0,3456x + 0,173y = 14,26, \\ (0,01 + 0,0043)x + (0,107 + 0,042)y = 2,09, \end{cases}$$

где x – количество каолина, y – количество полевого шпата.

Первое равенство определяет количество Al_2O_3 , введенное в массу каолином и полевым шпатом, второе соответствует количеству щелочных оксидов, введенных этими же компонентами.

Из одного уравнения выделяют x и подставляют его значение в другое уравнение системы:

$$x = \frac{14,26 - 0,173y}{0,3456} = 41,26 - 0,5y;$$

$$0,0143(41,26 - 0,5y) + 0,149y = 2,09;$$

$$0,59 - 0,00715y + 0,149y = 2,09;$$

$$0,142y = 1,5.$$

$$\begin{cases} y = 10,56, \\ x = 36,03. \end{cases}$$

Для определения содержания SiO_2 в керамической массе вычисляют содержание SiO_2 , введенное с:

$$\text{глиной: } 30 \text{ м. ч.} \rightarrow 54,13 \cdot 0,3 = 16,24 \text{ м. ч.};$$

$$\text{каолином: } 36,03 \text{ м. ч.} \rightarrow 49,8 \cdot 0,3603 = 17,94 \text{ м. ч.};$$

$$\text{полевым шпатом: } 10,56 \text{ м. ч.} \rightarrow 66,69 \cdot 0,1056 = 7,04 \text{ м. ч.};$$

всего 41,22 м. ч.

С кварцевым песком необходимо ввести:

$$\text{SiO}_2: 71,65 - 41,22 = 30,43 \text{ м. ч.}$$

Так как в кварцевом песке содержится 97,8 SiO_2 , то необходимое количество кварцевого песка составит:

$$100_{\text{кв. песка}} - 97,8 \text{ SiO}_2;$$

$$X_{\text{кв. песка}} = 30,43;$$

$$X_{\text{кв. песка}} = \frac{30,43 \cdot 100}{97,8} = 31,11 \text{ м. ч.}$$

Таким образом, получен следующий шихтовой состав керамической массы:

глина 30 м. ч.	27,86%;
каолин 36,03 м. ч.	33,45%;
полевоы шпат 10,56 м. ч.	9,81%;
кварцевый песок 31,11 м. ч.	28,88%;
<i>всего</i> 107,7 м. ч.	100%.

3.3. Расчет шихтового состава массы при замене сырьевых материалов

Частичная либо полная замена одного из сырьевых материалов часто является необходимым процессом в производственных условиях.

Пример 6. Откорректировать шихтовой состав массы при изменении одного из компонентов. Дан шихтовой состав керамической массы, %: глина – 9,0; каолин – 40,0; полевоы шпат – 26,0; кварцевый песок – 25,0 (см. пример 2).

Химический состав сырьевых материалов приведен в табл. 1. Требуется заменить глину месторождения X глиной месторождения Y следующего химического состава, %: SiO_2 – 54,05; TiO_2 – 0,8; Al_2O_3 – 32,8; Fe_2O_3 – 1,18; CaO – 0,6; MgO – 0,53; Na_2O – 0,32; K_2O – 0,8; п.п.п. – 8,92.

При расчете исходят из того, что при замене одного сырья другим минеральный состав массы практически не должен изменяться. Для этого необходимо рассчитать минеральный состав глины месторождения Y и минеральный состав исходной массы.

Расчет минерального состава глины месторождения Y (см. пример 1):

$$\sum \text{R}_2\text{O} = \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 0,8 + 0,32 = 1,12 \text{ м. ч.}$$

$$\frac{M_{\text{K}_2\text{O}}}{M_{\text{орт}}} = \frac{1,12}{X_{\text{орт}}}; \quad \frac{94,2}{556,7} = \frac{1,12}{X_{\text{орт}}};$$

$$X_{\text{орт}}^7 = 6,62 \text{ м. ч.}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{орт}} = \frac{6,62 \cdot 101,96}{556,7} = 1,21 \text{ м. ч.}$$

$$\text{SiO}_2_{\text{орт}} = \frac{6,62 \cdot 360,54}{556,7} = 4,29 \text{ м. ч.}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3_{\text{ост}}^8: 32,8 - 1,21 = 31,59 \text{ м. ч.}$$

$$\frac{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{M_{\text{каоол}}} = \frac{31,59}{X_{\text{каоол}}}; \frac{101,96}{258,1} = \frac{31,59}{X_{\text{каоол}}};$$

$$X_{\text{каоол}} = 79,97 \text{ м. ч.}$$

$$\text{SiO}_2_{\text{каоол}} = \frac{79,97 \cdot 120,18}{258,1} = 37,24 \text{ м. ч.}$$

$$\text{SiO}_2_{\text{своб}}^9 = 54,05 - 4,29 - 37,24 = 12,52 \text{ м. ч.}$$

Таким образом, минеральный состав глины месторождения У будет следующим, м. ч. (%):

полевои шпат	6,62;
каолинит	79,97;
кварц	12,52;
неучтенные минералы	0,89;
<i>всего</i>	100,00.

Следующим этапом является расчет минерального состава исходной керамической массы (предварительно необходимо рассчитать минеральный состав ее отдельных компонентов). Расчет минерального состава принятой массы приведен в примере 2. Состав будет следующим, м. ч.:

полевои шпат	26,41;
каолинит	43,67;
кварц	29,01;
неучтенные минералы	0,91;
<i>всего</i>	100,00.

Данные расчета минерального состава шихты приведены в табл. 6.

Далее определяют шихтовой состав массы с использованием глины месторождения У.

⁷ орт – ортоклаз

⁸ ост – остальное количество

⁹ своб – свободный

Расчет количества глины месторождения Y ведут по каолиниту. С глиной в массу вводится $69 \cdot 0,09 = 6,21$ м. ч. каолинита. На это количество нужно взять глины месторождения Y :

$$100_{\text{глины}} - 79,97_{\text{каоол}};$$

$$X_{\text{глины}} = 6,27;$$

$$X_{\text{глины}} = 7,84 \text{ м. ч.}$$

Таблица 6

Расчет минерального состава шихты

Сырьевые компоненты	Состав шихты, %	Минералы и их содержание, %			
		полевой шпат	каолинит	кварц	неучтенные минералы
Глина огнеупорная	9	$5,14 \cdot 0,09 = 0,461$	$69,0 \cdot 0,09 = 6,21$	$23,5 \cdot 0,09 = 2,11$	$2,29 \cdot 0,09 = 0,21$
Каолин	40	$1,42 \cdot 0,4 = 0,57$	$91,64 \cdot 0,4 = 36,66$	$6,15 \cdot 0,4 = 2,46$	$0,79 \cdot 0,4 = 0,32$
Полевой шпат	26	$97,63 \cdot 0,26 = 25,38$	–	$1,07 \cdot 0,26 = 0,28$	$1,3 \cdot 0,26 = 0,34$
Кварцевый песок	25	–	$3,19 \cdot 0,25 = 0,8$	$96,64 \cdot 0,25 = 24,16$	$0,17 \cdot 0,25 = 0,04$
Минеральный состав массы	100	26,41	43,67	29,01	0,91

При введении 7,84 м. ч. глины месторождения Y вносится кварца:

$$7,84 \cdot 0,1252 = 0,98 \text{ м. ч.}$$

Поскольку с глиной месторождения X вводилось $23,5 \cdot 0,09 = 2,11$ м. ч. кварца, то с глиной месторождения Y недостающее количество кварца составляет $4,17 - 2,11 = 2,06$ м. ч. Это количество необходимо компенсировать при расчете кварцевого песка, которым вводился кварц.

Кварцевым песком вводилось $96,64 \cdot 0,025 = 24,16$ м. ч.

Общее количество составит $24,16 + 2,06 = 26,22$ м. ч.

$$100_{\text{кв. песка}} - 96,64 \text{ SiO}_2;$$

$$X_{\text{кв. песка}} = 26,22;$$

$$X_{\text{кв. песка}} = 27,13 \text{ м. ч.}$$

С глиной месторождения X вводилось 0,461 м. ч. полевого шпата, а с глиной месторождения Y вводится $6,62 \cdot 0,0784 = 0,52$ м. ч.

Излишек полевых шпатов составит $0,52 - 0,461 = 0,06$ м. ч.

Столь малой разницей в минеральном составе можно пренебречь, при более значительном расхождении содержания полевого шпата необ-

ходимо сделать перерасчет содержания полевого шпата в сторону либо компенсации, либо снижения содержания основного минерала.

Таким образом, при замене в принятом составе одной глины другой получим следующий шихтовой состав массы, м. ч.:

глина	7,84;
каолин	40,00;
полевого шпат	26,00;
кварцевый песок	27,13;
<i>всего</i>	100,97.

Полученный состав пересчитывают в процентах: глина – 7,76; каолин – 39,62; полевого шпат – 25,75; кварцевый песок – 26,87.

В ряде случаев требуется пересчитывать шихтовой состав массы, полностью заменив компоненты исходной массы. В этом случае можно сопоставить химический состав исходной и новой масс при условии сохранения минерального состава.

Пример 7. Дан шихтовой состав керамической массы, %: каолин – 40; полевого шпат – 26; глина огнеупорная – 9; кварцевый песок – 25. Требуется пересчитать новый состав шихты при полной замене сырьевых материалов.

Химический состав сырьевых материалов приведен в табл. 1.

Исходя из шихтового состава массы и химического состава исходных материалов, рассчитывается химический состав массы. Сводные результаты расчетов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Расчет химического состава массы

Сырьевые компоненты	Содержание, %	Оксиды и их содержание, %								
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п.
Глина	9	5,31	2,54	0,11	0,05	0,03	0,03	0,06	0,02	0,85
Каолин	40	19,90	14,58	0,35	–	0,28	0,16	0,08	0,02	4,63
Полевого шпат	26	17,51	4,87	0,04	–	0,08	0,08	0,92	2,36	0,14
Кварцевый песок	25	24,54	0,32	–	0,02	–	–	–	–	0,13
Σ на непрокаленное вещество	100	67,25	22,31	0,50	0,07	0,39	0,27	1,06	2,40	5,75
Σ на прокаленное вещество	100	71,35	23,67	0,52	0,08	0,41	0,29	1,13	2,55	–

Пользуясь полученными данными о химическом составе массы и данными о химическом составе новых сырьевых материалов, рассчитывают новый рецепт массы. Химические составы используемого сырья приведены в табл. 8.

Таблица 8

Химический состав новых сырьевых материалов

Компонент	Оксиды и их содержание, %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п.
Глина	61,78	24,72	1,03	1,17	0,73	0,72	1,15	0,86	7,84
Каолин	45,73	38,43	0,79	0,14	1,10	0,02	–	0,92	12,87
Пегматит	70,33	15,15	0,48	0,32	1,15	0,45	7,26	4,16	0,70
Кварцевые отходы	97,60	0,50	0,40	0,21	0,60	0,15	–	–	0,54

Расчет начинают с того сырьевого материала, который содержит наибольшее число различных оксидов и в то же время вводит один из главных оксидов, образующих минеральный состав черепка.

В данном случае начинают расчет необходимого количества пегматита, с которым требуется ввести 3,68 R₂O.

$$100_{\text{пегм}}^{10} - 11,42 R_2O;$$

$$X_{\text{пегм}} - 3,68;$$

$$X_{\text{пегм}} = 32,22 \text{ м. ч.}$$

$$Al_2O_3_{\text{пегм}} / 100_{\text{пегм}} - 15,15 Al_2O_3;$$

$$32,22 - X_{Al_2O_3};$$

$$X_{Al_2O_3} = 4,88 \text{ м. ч.}$$

$$SiO_2_{\text{пегм}} / 100_{\text{пегм}} - 70,33 SiO_2;$$

$$32,22 - X_{SiO_2};$$

$$X_{SiO_2} = 22,66 \text{ м. ч.}$$

Глинистые материалы рассчитывают по содержанию в них Al₂O₃. Соотношением глины и каолина обычно задаются исходя из технологических свойств массы.

В данном случае примем такое же соотношение каолина и глины, какое было в ранее используемой глине (4 : 1).

¹⁰ пегм – пегматит

В исходной массе содержится 23,67 Al_2O_3 (табл. 7), с пегматитом введено 4,88 м. ч. Al_2O_3 , следовательно, с новыми глинистыми материалами необходимо ввести $23,67 - 4,88 = 18,79$ м. ч. Al_2O_3 , или с каолином – 14,99, с глиной – 3,8 м. ч.

Определяется необходимое количество каолина и глины в массе:

$$100_{\text{каоол}} - 38,43 \text{ Al}_2\text{O}_3;$$

$$X_{\text{каоол}} - 14,99;$$

$$X_{\text{каоол}} = 39,01 \text{ м. ч.}$$

$$100_{\text{глины}} - 24,72 \text{ Al}_2\text{O}_3;$$

$$X_{\text{глины}} - 3,8;$$

$$X_{\text{глины}} = 15,37 \text{ м. ч.}$$

Рассчитывается содержание других оксидов, вводимых с каолином и глиной. Результаты приведены в табл. 9.

Таблица 9

Расчет химического состава массы

Компоненты	Содержание, %	Оксиды и их содержание, %								
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	п.п.п.
Глина	15,37	9,50	3,80	0,16	0,18	0,11	0,11	0,18	0,13	1,20
Каолин	39,01	17,84	14,99	0,31	0,05	0,43	0,01	–	0,36	5,02
Пегматит	32,22	22,66	4,88	0,15	0,10	0,37	0,15	2,34	1,34	0,23
Кварцевые отходы	21,88	21,35	0,11	0,09	0,05	0,13	0,03	–	–	0,12
Всего	108,48	71,35	23,78	0,71	0,38	1,04	0,3	2,52	1,83	6,58
Σ на непрокаленное вещество	100	65,77	21,92	0,65	0,35	0,96	0,28	2,32	1,69	6,06
Σ на прокаленное вещество	100	70,01	23,33	0,69	0,37	1,02	0,30	2,47	1,80	–

Количество SiO_2 , которое надо ввести с кварцевыми отходами, определяется по разности содержания SiO_2 в исходной массе и его содержания в вводимых глине, каолине и пегматите:

$$71,35 - (9,5 + 17,84 + 22,66) = 21,35 \text{ м. ч.}$$

По найденному количеству SiO_2 подсчитывают содержание в массе кварцевых отходов и вводимых с ними оксидов.

$$100_{\text{отх}}^{11} - 97,6 \text{ SiO}_2;$$

$$X_{\text{отх}} - 21,35;$$

$$X_{\text{отх}} = 21,88 \text{ м. ч.}$$

Сопоставляя данные химического анализа исходной и новой масс, можно увидеть, что в расчетной массе есть недостаток SiO_2 (1,34 м. ч.) и Al_2O_3 (0,34 м. ч.) и некоторый избыток щелочных оксидов (0,59 м. ч.). Полученный результат химического состава расчетной массы можно считать достаточно близким к химическому составу исходной массы и дальнейшую корректировку состава не производить.

Однако в случае недостаточной сходимости результатов химических составов проводится дополнительная корректировка.

Скорректировать избыток щелочных оксидов в данном случае следует уменьшением количества пегматита:

$$100_{\text{пегм}} - 11,42 \text{ R}_2\text{O};$$

$$X_{\text{пегм}} - 0,59;$$

$$X_{\text{пегм}} = 5,17 \text{ м. ч.}$$

Общее количество пегматита составит $32,22 - 5,17 = 27,05$ м. ч.

С пегматитом из массы уйдут:

$$\text{Al}_2\text{O}_3: 15,15 \cdot 0,0517 = 0,78 \text{ м. ч.};$$

$$\text{SiO}_2: 70,33 \cdot 0,0517 = 3,64 \text{ м. ч.}$$

Суммируя содержание этих оксидов в массе, видим, что получается недостаток:

$$\text{Al}_2\text{O}_3: (-0,34) + (-0,78) = -1,12 \text{ м. ч.};$$

$$\text{SiO}_2: (-1,34) + (-3,64) = -4,98 \text{ м. ч.}$$

Недостаток Al_2O_3 можно компенсировать увеличением содержания каолина в массе:

$$100_{\text{каоил}} - 38,43 \text{ Al}_2\text{O}_3;$$

$$X_{\text{каоил}} - 1,12;$$

$$X_{\text{каоил}} = 1,61 \text{ м. ч.}$$

С этим количеством каолина войдет в массу SiO_2 : $45,73 \cdot 0,0291 = 1,33$ м. ч.

Общее количество каолина в массе составит $39,01 + 2,91 = 41,92$ м. ч.

Остаточный недостаток SiO_2 в массе составит $-4,98 + 1,33 = -3,65$ м. ч.

Этот недостаток можно снять увеличением содержания кварцевых отходов:

¹¹ отх – кварцевые отходы

$$100_{\text{отх}} - 97,6 \text{ SiO}_2;$$

$$X_{\text{отх}} - 3,65;$$

$$X_{\text{отх}} = 3,74 \text{ м. ч.}$$

Общее содержание кварцевых отходов составит $21,88 + 3,74 = 25,62$ м. ч.

Итоги корректировки химического состава массы приведены в табл. 10.

Таблица 10

Результаты корректировки массы по основным оксидам

Компоненты	Количественный показатель	Оксиды и их содержание, %		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	R ₂ O
Расчетное содержание основных оксидов	–	70,01	23,33	4,27
Избыточный пегматит	5,17	–3,64	–0,78	–0,59
Добавочный каолин	2,91	1,33	1,12	–
Добавочные кварцевые отходы	3,74	+3,65	–	–
Конечный результат	–	71,35	23,67	3,68

Проведенная корректировка состава массы более приблизила химический состав новой массы к химическому составу исходной по основным оксидам.

В дальнейшем можно произвести расчет минерального состава массы и сравнить с его минеральным составом исходной массы.

Конечный состав шихты будет следующим:

глина 15,37 м. ч.	13,98%;
каолин 41,92 м. ч.	38,12%;
пегматит 27,05 м. ч.	24,60%;
кварцевые отходы 25,62 м. ч.	23,30%;
<i>всего</i> 109,96 м. ч.	100,00%.

3.4. Расчет шихтового состава массы для получения технической керамики с заданным фазовым составом

При синтезе технической керамики в ряде случаев используют сочетание различных кристаллических фаз, позволяющее получить заданный комплекс физико-химических свойств и тем самым расширить эксплуатационные возможности материалов.

При проектировании исходных составов технической керамики с заданным сочетанием кристаллических фаз используют диаграммы состояния систем. Шихтовой состав смесей рассчитывают исходя из их химического состава (установленного по диаграмме состояния или расчетным путем) и химического состава используемых сырьевых компонентов. Следует отметить, что один и тот же химический состав смеси может быть обеспечен различными сырьевыми материалами, содержащими идентичные оксиды.

Пример 8. Рассчитать шихтовой состав массы для синтеза технической муллито-кордиеритовой керамики с заданным фазовым составом (50% муллита и 50% кордиерита).

Необходимо определить ориентировочный химический состав синтезированного материала с заданным соотношением кристаллических фаз. Химический состав можно определить графически с помощью диаграммы состояния $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ на линии, соединяющей точки составов муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) и кордиерита ($2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$) при их соотношении 1 : 1, найти точку смеси и установить ее химический состав в оксидах ($MgO - 7\%$, $Al_2O_3 - 53\%$, $SiO_2 - 40\%$). Кроме того, можно определить заданный химический состав путем расчета, исходя из химических составов муллита (72% Al_2O_3 и 28% SiO_2) и кордиерита (13% MgO , 34,9 % Al_2O_3 и 51,4% SiO_2).

При их эквимолекулярном соотношении химический состав можно рассчитать:

$$MgO: 13,7 \cdot 0,5 = 6,85\%;$$

$$Al_2O_3: 72 \cdot 0,5 + 34,9 \cdot 0,5 = 36 + 17,45 = 53,45\%;$$

$$SiO_2: 28 \cdot 0,5 + 51,4 \cdot 0,5 = 14 + 25,7 = 39,7\%.$$

В качестве сырьевых компонентов используются тальк онотский (вводится MgO и SiO_2), глина огнеупорная (вводится Al_2O_3 и SiO_2), технический глинозем (вводится Al_2O_3). Можно выбрать и обосновать другие сырьевые материалы.

Дальнейшие расчеты шихтового состава смеси проводятся в соответствии с методикой, изложенной в подразд. 3.2.

3.5. Расчет загрузки шаровых мельниц

На керамических предприятиях, осуществляющих подготовку массы по шликерной технологии, необходимо постоянно рассчитывать рецепт загрузки шаровых мельниц при совместном помоле пла-

стичных и непластичных либо только непластичных материалов, а также рецепты смешения пластичных и непластичных материалов при их раздельном помоле.

Пример 9. Рассчитать загрузку шаровой мельницы при совместном помоле глинистых, отошающих и плавней. Рецепт массы, мас. %: глина огнеупорная – 40,5 (влажность 22%); глина легкоплавкая – 12,7 (влажность 20%); кварц-полевошпатовое сырье – 16,8 (влажность 3,8%); доломит – 14,4 (влажность 5,2%); кварцевый песок – 15,6 (влажность 4,0%). Загрузка шаровой мельницы – 17 000 кг по сухой массе.

При совместном помоле сырьевых материалов процесс измельчения осуществляется, как правило, не менее чем в две загрузки, причем первоначально осуществляется помол каменистых с добавлением около 10% глинистых для предупреждения оседания непластичных материалов, затем на втором этапе осуществляется догрузка глинистых и окончательный помол до требуемого результата. Время помола устанавливается экспериментально в зависимости от твердости сырьевых материалов. При значительном расхождении показателей твердости отошающих их можно молоть в два этапа, тогда общий цикл складывается из трех этапов.

Исходя из практических данных, влажность шликера при первой загрузке принимается 36%, конечная влажность – 42%.

Расчет загрузки мельницы осуществляется в соответствии с рецептом, но по сухому материалу. С учетом проектной загрузки мельницы загрузка материалов должна быть произведена в следующих количествах, кг:

глина огнеупорная	6885 (40,5%);
глина легкоплавкая	2159 (12,7%);
кварц-полевошпатовое сырье	2856 (16,8%);
доломит	2448 (14,4%);
кварцевый песок	2652 (15,6%);
<i>всего</i>	17 000 (100,0%).

При первой загрузке вводится кварц-полевошпатовое сырье, доломит и кварцевый песок. В мельницу необходимо добавить часть глины во избежание оседания каменистых компонентов. В данном примере рационально первоначально ввести глину легкоплавкую, которая, как правило, в той или иной степени запесочена, а учитывая, что ее содержание невелико и близко к требуемым 10% по массе, ее можно ввести полностью.

Далее рассчитывается количество воды, которое необходимо добавить в мельницу с учетом влажности сырьевых материалов для получения шликера с влажностью 36%.

Пересчет содержания сухого вещества на влажный материал осуществляют по формуле:

$$X_{\text{вл}}^{12} = G_{\text{сух}}^{13} \cdot 100 / (100 - W),$$

где $G_{\text{сух}}$ – масса сухого материала, кг; W – влажность материала, %.

При первой загрузке загружаются сухих материалов:

$$2159 + 2856 + 2448 + 2652 = 10\,115 \text{ кг.}$$

Общее количество сухих материалов – 64 % (100 – 36).

Общее количество шликера при влажности 36% находят из соотношения:

$$X_{\text{шл}}^{14} = \frac{10\,115 \cdot 100}{64};$$

$$X_{\text{шл}} = 15804,69 \text{ кг.}$$

$$X_{\text{воды}} = 15804,69 - 10115 = 5689,69 \text{ кг.}$$

С загружаемыми сырьевыми материалами вводится следующее количество воды.

С глиной легкоплавкой:

$$\frac{2159 \cdot 100}{80} - 2159 = 2698,75 - 2159 = 539,75 \text{ кг.}$$

С кварц-полевошпатовым сырьем:

$$\frac{2856 \cdot 100}{96,2} - 2856 = 2968,81 - 2856 = 112,81 \text{ кг.}$$

С доломитом:

$$\frac{2448 \cdot 100}{94,8} - 2448 = 2582,28 - 2448 = 134,28 \text{ кг.}$$

С кварцевым песком:

$$\frac{2652 \cdot 100}{96} - 2652 = 2762,5 - 2652 = 110,5 \text{ кг.}$$

¹² вл – влажный материал

¹³ сух – сухой материал

¹⁴ шл – шликер

Итого с сырьевыми материалами при первой загрузке поступило воды:

$$539,75 + 112,81 + 134,28 + 110,5 = 897,34 \text{ кг.}$$

Следовательно, в мельницу до влажности шликера 36% следует добавить воды:

$$5689,69 - 897,34 = 4792,35 \text{ кг.}$$

После помола непластичных в мельницу загружают оставшуюся глину огнеупорную – 6885 кг. Конечная влажность шликера – 42%, следовательно, в мельнице должно быть воды:

$$\frac{17\ 000 \cdot 100}{58} - 17\ 000 = 29310,34 - 17000 = 12310,34 \text{ кг.}$$

При первой загрузке введено 5689,69 кг воды. С огнеупорной глиной войдет:

$$\frac{6885 \cdot 100}{78} - 6885 = 8826,9 - 6885 = 1941,9 \text{ кг.}$$

Таким образом, при вторичной загрузке мельницы требуется добавить воды:

$$12310,34 - 5689,69 - 1941,9 = 4678,75 \text{ кг.}$$

Итоги расчета можно представить в виде таблицы (табл. 11).

Таблица 11

Результаты расчета загрузки мельницы

Компонент	Содержание, %	Количество материала по сухой массе, кг	Влажность сырья, %	Масса материала с естественной влажностью, кг	Влага сырьевых материалов, кг	I-я загрузка	II-я загрузка
Глина огнеупорная	40,5	6885	22,0	8826,40	1941,90	–	8826,40
Глина легкоплавкая	12,7	2159	20,0	2698,75	539,75	2698,75	–
Кварц-полевошпатовое сырье	16,8	2856	3,8	2968,81	112,81	2968,81	–
Доломит	14,4	2448	5,2	2582,28	134,28	2582,28	–
Кварцевый песок	15,6	2652	4,0	2762,50	110,50	2762,50	–
Вода	–	–	–	–	–	4792,35	4678,75

3.6. Составление технологической схемы производства различных видов керамических изделий

В производстве керамических изделий самого разнообразного вида, состава и назначения можно выделить ряд основных общих технологических переделов (стадий), приведенных на рис. 1.

В зависимости от вида и ассортимента изделий изменяют отдельные технологические операции или вводят дополнительные, сохраняя неизменной принципиальную схему производства.

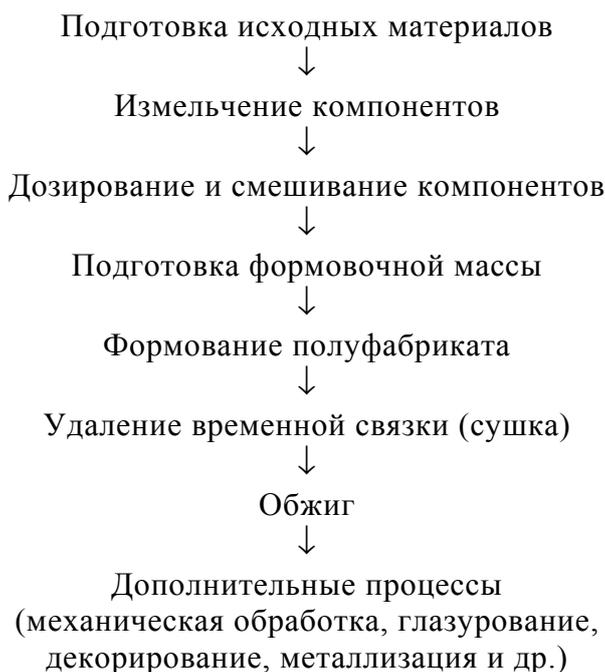


Рисунок 1. Функциональная схема общих технологических переделов производства керамических изделий

Подготовка исходных материалов обеспечивает для каждого сырьевого компонента керамической массы заданный химико-минералогический состав, необходимую степень чистоты, а также физическое состояние и влажность, требуемые для последующей переработки. Эта стадия включает следующие процессы: обогащение, предварительное дробление; сушку сырья до влажности, обеспечивающей возможность измельчения; иногда предварительную термическую обработку, обеспечивающую необходимые фазовые превращения, и другие операции.

Измельчение компонентов позволяет получить размеры их зерна, соответствующие особенностям последующей технологии и требованиям к свойствам изделий. Для измельчения используется различное дробильно-помольное оборудование непрерывного и периодического действия, а также агрегаты для диспергации (ропуска) глинистых пород.

Смешивание компонентов обеспечивает получение однородной композиции (шихты, массы) определенного химико-минералогического и зернового состава после весовой или объемной дозировки компонентов. Смешивание осуществляется в периодически или непрерывно действующих смесителях различной конструкции. В ряде случаев процессы смешивания компонентов совмещают с их измельчением в мельницах тонкого помола.

Подготовка массы придает ей определенные физические и технологические свойства: плотность, вязкость, пластичность, влажность, – необходимые для последующих процессов формования. В керамическом производстве используются порошкообразные, пластические и жидкотекучие массы.

Процессы формования обеспечивают получение полуфабриката (заготовки) требуемой формы и размера с учетом последующих изменений объема при сушке и обжиге.

Формование изделий может осуществляться различными методами в зависимости от применяемых керамических масс. Из порошкообразных масс изделия изготавливают методом прессования (полусухого, изостатического, горячего). Из пластических масс изделия формируют методом экструзии (выдавливании массы через профильные мундштуки), допрессовкой (штемпельным прессованием) и раскаткой в тела вращения.

Из керамических шликеров (водных и неводных текучих суспензий) изделия отливают в пористые формы сливным, наливным или комбинированным способами, формируют в металлических формах из термопластических шликеров (горячее литье под давлением) на органических пластификаторах и осуществляют литье тонких пленок, используя в качестве связок растворы высокополимерных веществ.

Сушка (удаление временной связки) керамического полуфабриката закрепляет его форму и снижает содержание связующей жидкости до такой степени, чтобы исключить ее отрицательное влияние на последующий процесс обжига изделий.

Связующая жидкость поступает в керамическую массу на стадии ее подготовки и является временной технологической связкой. Как правило, она представляет собой жидкость, хорошо смачивающую минеральные частицы, обеспечивающую определенную пластичность

дисперсной системы. Роль такой жидкости могут выполнять вода, водные растворы минеральных и органических веществ либо органические вещества и их смеси.

Если основными компонентами связки являются малолетучие органические вещества, то вместо процесса сушки осуществляется удаление технологической связки методом пиролиза (термического разложения).

Обжиг керамических изделий предназначен для превращения полуфабриката в готовое изделие, обладающее требуемым комплексом физико-химических и эксплуатационных свойств, что обеспечивается совокупностью условий обжига.

Обожженные изделия не всегда являются готовой продукцией керамического производства. Для ее окончательного оформления могут требоваться различные дополнительные процессы, такие как механическая обработка (резка, шлифование), металлизация поверхности, глазурирование, декорирование и др.

При проектировании и организации производства керамических материалов и изделий составляется технологическая, а затем аппаратная схема, показывающая последовательность технологических процессов и необходимое оборудование для их обеспечения. Основными критериями для составления схемы являются применяемые сырьевые материалы, а также выбранные способы подготовки формовочной массы и формования полуфабриката. Составленная технологическо-аппаратурная схема должна быть рациональной, энергосберегающей, с отсутствием или минимальным количеством ручных операций и возможностью механизации и автоматизации процессов.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа выполняется по выбору студента в соответствии с тематикой дисциплины на основе задания, в котором указываются тема и срок сдачи работы, исходные данные к работе: годовой выпуск продукции, ассортимент выпускаемой продукции, используемые сырьевые материалы.

Курсовая работа включает графическую и расчетную части. Расчетная часть оформляется в виде расчетно-пояснительной записки. Она включает: титульный лист, задание на проектирование, реферат, содержание, введение, аналитический обзор способов производства и выбора рациональной схемы, технологический раздел, технику безопасности и охрану окружающей среды, заключение.

Технологический раздел включает: ассортимент продукции и производственную программу; описание применяемого сырья, его химический состав и расчет масс; описание технологической схемы производства; расчет материального баланса; расчет и подбор оборудования; расчет складов сырья и продукции.

Приводится перечень графического материала и список использованных источников. Перечень графического материала включает технологическую схему производства (1 лист), планы и разрезы технологической линии (2–3 листа).

Пояснительная записка выполняется на одной стороне листа формата А4. Каждый раздел текста пояснительной записки следует начинать с нового листа. Основные разделы текста должны снабжаться основной надписью по форме 5 ГОСТ 21.101. Выполненная курсовая работа должна соответствовать требованиям СТП БГТУ 002–2007 «Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки, представления к защите и защиты».

Графическая часть работы выполняется на листах формата А1.

При выполнении чертежей рекомендуются масштабы 1 : 50 или 1 : 100. При несоответствии масштаба выносного элемента указанному в основной надписи дается его масштаб после надписи, относящейся к этому элементу. На чертежах должны быть показаны разрезы и сечения, нанесены конструктивные и габаритные размеры.

Сверху над чертежами указывают название и принятый масштаб. Например, «Разрез 1-1 М 1 : 50». Размерные линии на пересечении

с выносными линиями, линиями контура или осевыми линиями на чертежах ограничивают засечками в виде толстых основных линий длиной 2–4 мм, проводимых с наклоном вправо под углом 45° к размерной линии. При этом размерные линии должны выступать за крайние выносные линии на 1–3 мм (рис. 2). Нужно, чтобы первая размерная линия отстояла от контура агрегата на 10–15 мм. Каждая последующая линия проводится на расстоянии 7–10 мм от предыдущей. На разрезах рекомендуется применять высотные отметки на выносных линиях контура в соответствии с ГОСТ 21.101 (рис. 2).

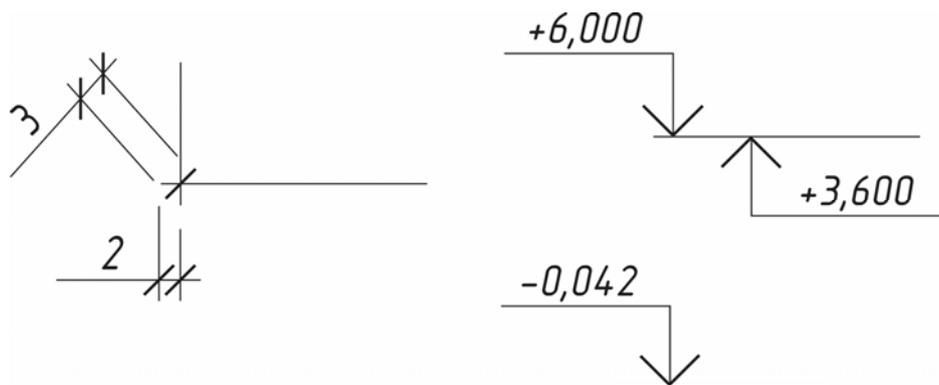


Рисунок 2. Пример выполнения размерных линий и высотных отметок при разработке чертежей

Размерная линия на чертежах ограничивается стрелками только в трех случаях: при обозначении диаметра или радиуса окружности; при обозначении градусной меры угла (рис. 3); при внесении размеров от общей базы.

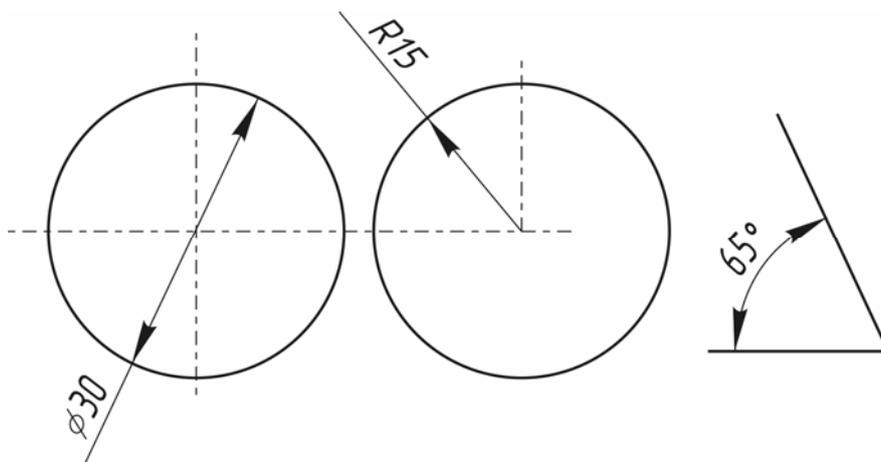


Рисунок 3. Применение стрелок для нанесения размеров на чертежах

Спецификацию можно выполнять и на отдельных листах формата А4, снабдив ее основной надписью по форме 3 ГОСТ 21.101 и поместив в приложениях расчетно-пояснительной записки.

На чертежах и в расчетно-пояснительной записке не допускается сокращение слов, за исключением общепринятых.

Календарный план выполнения курсовой работы

Наименование этапов работы	Срок выполнения
1. Аналитический обзор литературы. Состояние и перспективы развития технологии производства проектируемого вида изделий. Описание существующих способов производства. Выбор и обоснование принятого способа производства	1 неделя
2. Выбор исходных данных для выполнения курсовой работы. Ассортимент продукции и производственная программа	1 неделя
3. Обоснование химического состава стекла и расчет шихты. Характеристика применяемого сырья и его описание	2 недели
4. Обоснование выбора технологической схемы производства и ее описание	2 недели
5. Расчет материального баланса. Расчет и подбор оборудования. Расчет складов сырья	2 недели
6. Выполнение графической части (технологическая схема производства, план и разрезы технологической линии)	2 недели
7. Общее оформление пояснительной записки и графической части	1 неделя

Тематика курсовых работ

1. Участок подготовки керамической массы для производства фарфоровых изделий методом пластического формования.

2. Участок подготовки керамической массы для производства фаянсовых изделий методом шликерного литья.

3. Участок подготовки сырых глазурей для декорирования фарфоровых изделий.

4. Участок формования и сушки майоликовых изделий.

5. Участок приготовления масс для получения майоликовых изделий.

6. Участок приготовления фриттованных глазурей и глазурования фаянсовых изделий.

7. Технологическая линия подготовки шликера на высокополимерных связующих и литья тонких керамических пленок для керамических конденсаторов.

8. Технологическая линия производства клиноэлектростатитовой керамики (с использованием метода горячего литья изделий).

9. Технологическая линия получения термостойких керамических изоляторов для электрических печей.

10. Технологическая линия подготовки керамической массы и формования фарфоровых электроизоляторов.

11. Технологическая линия получения изделий из корундовой керамики (методами полусухого прессования, литья, экструзии).

5. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Контрольные задания по курсу «Технология тонкой и технической керамики» выполняются в 10 семестре в соответствии с вариантом и правилами оформления контрольных работ и представляются на кафедру до экзаменационной сессии.

Вариант 1

1. Пластический способ получения керамических масс в производстве тонкой керамики.
2. Классификация технической керамики. Основные и специфические свойства, области применения.
3. Подобрать исходные материалы и составить технологическую схему производства тарелок из фаянсовых масс.
4. Подобрать исходные материалы и составить технологическую схему получения низковольтных фарфоровых электроизоляторов.
5. Рассчитать шихтовой состав керамической массы, имеющей следующий химический состав, %: SiO_2 – 58,66; Al_2O_3 – 29,39; Fe_2O_3 – 0,85; MgO – 0,08; CaO – 0,13; K_2O – 2,08; Na_2O – 1,10; п.п.п. – 7,71. В качестве сырьевых материалов использовать каолин просяновский, глину «Веско-Гранитик», полевой шпат чупинский, кварцевый песок Гомельского ГОКа.

Вариант 2

1. Приготовление литейных шликеров и получение из них полуфабриката фарфоровых изделий.
2. Корундовая керамика. Свойства, исходные материалы, технология производства.
3. Подобрать исходные компоненты и составить технологическую схему производства клиноэнстатитовой керамики по одностадийной технологии.
4. Подобрать исходные материалы и составить технологическую схему получения штофов из тонкокаменных масс.
5. Дан минеральный состав керамической массы, %: каолинит – 44,53; полевой шпат – 21,91; кварц – 31,34; неучтенные минералы – 2,22. Определить шихтовой состав массы, используя в качестве сырьевых материалов

глину «Веско-Керамик», каолин глуховецкий, полевой шпат енский, кварцевый песок Гомельского ГОКа.

Вариант 3

1. Классификация изделий тонкой керамики.
2. Электротехнический фарфор. Классификация по рабочему напряжению, конструкции, химическому составу. Требования к изделиям и применяемым сырьевым материалам.
3. Подобрать исходные материалы и составить технологическую схему получения тарелок из твердого фарфора.
4. Подобрать исходные материалы и составить технологическую схему производства клиноэнстатитовой керамики по двухстадийной технологии с использованием термопластического связующего.
5. Определить минеральный состав керамической массы для производства изделий из полуфарфоровых масс по ее шихтовому составу, %: полевой шпат енский – 22; каолин просяновский – 18; каолин глуховецкий – 10; глина «Веско-Гранитик» – 10; глина ДНПК – 10; песок кварцевый Гомельского ГОКа – 21; бой брака полуфарфоровых изделий – 9.

Вариант 4

1. Основные свойства тонкой керамики.
2. Керамика на основе огнеупорных оксидов. Виды, свойства, применение, отличительные особенности технологического производства по сравнению с производством традиционной керамики.
3. Подобрать исходные материалы и составить технологическую схему получения чайников из твердого фарфора.
4. Подобрать исходные материалы и составить технологическую схему получения высоковольтных крупногабаритных фарфоровых изоляторов.
5. Рассчитать шихтовой состав керамической массы, имеющей следующий химический состав, %: SiO_2 – 61,79; Al_2O_3 – 24,44; TiO_2 – 0,64; Fe_2O_3 – 5,05; MgO – 0,97; CaO – 1,91; K_2O – 1,73; Na_2O – 3,47. В качестве сырьевых материалов использовать глину никифоровскую и глину ДНПК в соотношении 2 : 1, нефелиновый сиенит кольский и песок кварцевый Гомельского ГОКа.

Вариант 5

1. Формование полуфабриката фаянсовых изделий пластическим способом. Особенности получения плоских и корпусных изделий. Дефекты процесса.

2. Техническая керамика на основе силикатов, алюмосиликатов и других сложных оксидных соединений. Химический и фазовый состав. Основные свойства и области применения.

3. Подобрать исходные сырьевые материалы и составить технологическую схему получения чашек из мягкого фарфора.

4. Подобрать исходные компоненты и составить технологическую схему производства корундовых изделий с использованием метода литья в пористые формы.

5. Дан шихтовой состав сырой глазури для твердого фарфора состава, %: пегматит енский – 36, кварцевый песок новоселовский – 26, доломит ковровский 15, череп фарфоровый – 14,5, каолин просяновский – 7, оксид цинка 1,5. Череп фарфоровый имеет химический состав, %: SiO_2 – 72,20; Al_2O_3 – 23,23; Fe_2O_3 – 0,67; TiO_2 – 0,32; CaO – 0,61; MgO – 0,23; K_2O – 2,31; Na_2O – 0,43. Рассчитать химический состав глазури.

Вариант 6

1. Ангобы и глазури, применяемые в производстве майоликовых изделий. Способы декорирования изделий с их использованием.

2. Приготовление формовочных масс с различной влажностью и методы формования фарфоровых изоляторов.

3. Подобрать исходные сырьевые материалы и составить технологическую схему производства ваз из полуфарфоровой массы.

4. Подобрать исходные компоненты и составить технологическую схему получения кордиеритовой керамики с использованием метода полусухого прессования.

5. Рассчитать шихтовой состав высокоглиноземистого шамота, сырьевой смеси и количество сырья для производства 1000 кг высокоглиноземистых огнеупоров, содержащих 60% Al_2O_3 .

Вариант 7

1. Составы масс и особенности получения тонкокаменных керамических изделий хозяйственного назначения.

2. Физико-химические аспекты поляризации керамики. Основные диэлектрические характеристики.

3. Подобрать исходные сырьевые материалы и составить технологическую схему производства кувшинов в технике гончарного производства.

4. Подобрать исходные компоненты и составить технологическую схему получения тиглей из форстеритовой керамики.

5. Рассчитать химический и шихтовой составы массы для получения технической керамики, имеющей заданный фазовый состав: 50% цельзиана ($\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) и 50% муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$).

Вариант 8

1. Утильный и политой обжиг изделий из твердого фарфора.
2. Конденсаторная керамика. Фазовый состав, получение заданных кристаллических фаз различными методами.
3. Подобрать исходные сырьевые материалы и составить технологическую схему производства ваз паркетных из шамотизированной керамики.
4. Подобрать исходные компоненты и составить технологическую схему производства электрических нагревателей из карбида кремния.
5. Дан минеральный состав фарфоровой массы, %: глинистые минералы – 50; полевого шпат – 25; кварц – 25. Определить шихтовой состав массы с использованием в качестве сырьевых материалов глины «Веско-Прима», каолина просяновского, пегматита енского и кварцевого песка Гомельского ГОКа.

Вариант 9

1. Приготовление порошков для полусухого прессования плоского ассортимента хозяйственного фарфора.
2. Техническая керамика на основе неокислородных соединений. Фазовый состав, свойства, области применения.
3. Подобрать исходные материалы и составить технологическую схему получения ваз сувенирных из костяного фарфора.
4. Подобрать исходные компоненты и составить технологическую схему получения тонких керамических пленок для конденсаторов.
5. Дан шихтовой состав фарфоровой массы, %: каолин просяновский – 43; глина «Веско-Прима» – 9; пегматит енский – 26; кварцевый песок Гомельского ГОКа – 22. Требуется пересчитать этот состав массы с учетом полной замены пегматита чупинским полевым шпатом.

Вариант 10

1. Глазури и глазурование полуфабриката фарфоровых изделий.
2. Карбидокремниевая техническая керамика. Особенности процесса спекания и его интенсификация.

3. Подобрать исходные материалы и составить технологическую схему получения горшков для жаркого из майоликовых масс.

4. Подобрать исходные компоненты и составить технологическую схему получения корундовых трубок с использованием метода пластического формования (экструзии).

5. Дан шихтовой состав майоликовой массы, мас. %: глина ДНПК – 10; глина «Гайдуковка» – 73; нефелиновый сиенит кольский – 10; бой (брак) – 7. Требуется пересчитать состав массы с учетом равнозначной замены глины ДНПК на глину «Веско-Керамик».

Вариант 11

1. Методы декорирования фаянсовых изделий. Обжиг декорированных изделий.

2. Применяемые связующие в производстве технической керамики и способы их удаления.

3. Подобрать исходные сырьевые материалы и составить технологическую схему производства тарелок глубоких из фаянсовых масс.

4. Подобрать исходные компоненты и составить технологическую схему получения карбидкремниевых изделий на нитридной связке.

5. Рассчитать шихтовой состав массы для синтеза технической керамики с заданным фазовым составом, содержащим 40% эвкритита ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) и 60% кордиерита ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) с использованием природного сырья и карбоната лития.

Вариант 12

1. Сушка и обжиг полуфабриката изделий из твердого фарфора.

2. Техническая керамика с магнитными свойствами. Свойства, фазовый состав, области применения.

3. Подобрать исходные сырьевые материалы и составить технологическую схему производства чашек из твердого фарфора.

4. Подобрать исходные компоненты и составить технологическую схему литийсодержащей термостойкой керамики с использованием метода горячего литья.

5. Рассчитать шихтовой состав массы для синтеза технической керамики с заданным фазовым составом, содержащим 80% шпинели ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) и 20% муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) с использованием природного сырья и химических веществ.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Химический состав сырьевых материалов

Наименование сырья и месторождений	Оксиды и их содержание, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₂	п.п.п.
Бентонит огланлыкский	69,90	15,60	0,24	1,14	2,50	2,90	1,88	0,55	–	5,29
Глина месторождений:										
– Гайдуковка	56,70	12,28	0,55	4,13	8,59	2,78	0,46	3,05	–	11,46
– Городное	66,96	16,01	0,51	7,21	0,71	0,40	0,49	0,08	–	7,63
– Веселовское месторождение: «Веско-Гранитик»	56,85	28,78	1,05	1,0	0,45	0,95	0,83	1,88	–	8,21
«Веско-Керамик»	62,41	23,2	0,98	1,2	1,36	1,49	0,9	1,94	–	6,52
«Веско-Прима»	53,41	33,36	1,22	0,80	1,26	0,17	0,31	0,45	–	9,02
– Лукомль	55,21	14,10	0,99	7,50	5,60	3,10	2,27	2,23	–	9,00
– Новорайская марки ДНПК	51,37	32,44	0,05	1,09	1,02	0,76	1,50	2,73	0,12	8,92
Каолины:										
– глуховецкий	46,37	37,17	–	0,49	1,23	0,22	0,66	0,34	–	13,52
– просяновский (мокрого обогащения)	47,80	36,85	1,2	0,45	0,63	0,3	0,1	0,44	–	12,23
– просяновский (сухого обогащения)	47,43	38,35	–	1,01	–	0,40	1,51	1,01	–	10,29
Нефелиновый сиенит кольский	44,37	29,66	0,07	3,03	2,20	0,43	11,94	7,67	–	0,63
Пегматит енский	76,2	13,82	–	0,15	1,89	0,36	2,38	4,85	–	0,35
Песок кварцевый Гомельского ГОКа	96,38	1,47	–	0,05	0,5	–	0,13	0,15	–	1,32
Полевой шпат енский	71,73	16,11	–	0,32	1,15	0,55	2,88	6,84	–	0,42
Полевой шпат чупинский	70,39	16,94	0,13	0,25	1,02	0,48	2,9	7,46	–	0,43
Тальк онотский	62,20	0,52	–	1,22	0,11	31,20	–	–	0,28	4,47

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Химическая технология керамики / Н. Т. Андрианов [и др.]; под ред. И. Я. Гузмана. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: РХТУ, 2012. – 493 с.
2. Августинник, А. И. Керамика / А. И. Августинник. – М.: Стройиздат, 1972. – 592 с.
3. Химическая технология керамики и огнеупоров / под ред. П. П. Будникова, Д. Н. Полубояринова. – М.: Высш. шк., 1972. – 552 с.
4. Мороз, И. И. Технология фарфоро-фаянсовых изделий / И. И. Мороз. – М.: Стройиздат, 1984. – 334 с.
5. Юшкевич, М. О. Технология керамики / М. О. Юшкевич, М. И. Роговой. – М.: Стройиздат, 1969. – 350 с.
6. Технология фарфорового и фаянсового производства / под ред. И. А. Булавина. – М.: Легкая индустрия, 1975. – 477 с.
7. Крупа, А. А. Химическая технология керамических материалов / А. А. Крупа, В. С. Городов. – Киев: Віща школа, 1990. – 398 с.
8. Будников, П. П. Фарфор: введение в технологию / П. П. Будников, Х. О. Геворкян. – М.: Гостместпром, 1955. – 204 с.
9. Балкевич, В. Л. Техническая керамика: учеб. пособие / В. Л. Балкевич. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
10. Калинин, Н. Н. Электро-радиоматериалы / Н. Н. Калинин, Г. Л. Скабинский, П. П. Новиков. – М.: Высш. шк., 1981. – 293 с.
11. Окодзаки, К. Технология керамических диэлектриков / К. Окодзаки; пер. с япон. М. М. Богачихина и Л. Р. Зайонца. – М.: Энергия, 1976. – 336 с.
12. Химическая технология керамики / под ред. И. Я. Гузмана. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы». – 2003. – 496 с.

Дополнительная

1. Практикум по технологии керамики и огнеупоров / под ред. Д. Н. Полубояринова, Р. Н. Попильского. – М.: Стройиздат, 1972. – 350 с.
2. Керамические материалы / Г. Н. Масленникова [и др.]. – М.: Стройиздат, 1991. – 313 с.
3. Левицкий, И. А. Легкоплавкие глазури для облицовочной и бытовой керамики / И. А. Левицкий. – Минск: БГТУ, 1999. – 396 с.

4. Бобкова, Н. М. Общая технология силикатов / Н. М. Бобкова, Е. М. Дятлова, Т. С. Куницкая. – Минск: Выш. шк., 1987. – 287 с.
5. Тонкая техническая керамика / под ред. Янагида Х.; пер. с япон. В. Я. Серебрякова, А. Н. Сенициной; под ред. А. К. Карклита. – М.: Металлургия, 1986. – 297 с.
6. Лепок, Л. М. Химия и технология ферритов / Л. М. Лепок, Г. И. Журавлев. – Л.: Химия, 1983. – 254 с.
7. Поляков, А. А. Технология керамических радиоэлектронных материалов / А. А. Поляков. – М.: Радио и связь, 1989. – 199 с.
8. Бокунов, В. С. Керамика из высокоогнеупорных окислов / В. С. Бокунов, В. Л. Балкевич, А. С. Власов. – М.: Стройиздат, 1977. – 304 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие указания.....	3
2. Программа дисциплины	6
Часть 1. Тонкая керамика.....	6
Часть 2. Техническая керамика	8
3. Методические указания по изучению дисциплины	10
3.1. Расчет минерального состава сырьевых материалов и масс по химическому составу.....	10
3.2. Расчет шихтовых составов масс по минеральному и химическому составу	16
3.3. Расчет шихтового состава массы при замене сырьевых материалов	23
3.4. Расчет шихтового состава массы для получения технической керамики с заданным фазовым составом	30
3.5. Расчет загрузки шаровых мельниц	31
3.6. Составление технологической схемы производства различных видов керамических изделий	35
4. Методические указания по выполнению курсовой работы.....	38
5. Варианты контрольных заданий.....	42
Приложение	47
Литература	48

ТЕХНОЛОГИЯ ТОНКОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ

Составители:

Левицкий Иван Адамович
Дятлова Евгения Михайловна

Редактор *Е. К. Лабоха*
Компьютерная верстка *Е. К. Лабоха*
Корректор *Е. К. Лабоха*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.