

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
до проведення практичних занять та організації самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ЗАГАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЕВИХ  
ТА СИЛКАТНИХ МАТЕРІАЛІВ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм  
навчання зі спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія,  
освітньо-професійна програма «Хімічні технології та інженерія»)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2024**

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Загальна технологія тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія, освітньо-професійна програма «Хімічні технології та інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. В. Саввова, О. В. Бабіч. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 55 с.

Укладачі: д-р техн. наук, проф. О. В. Саввова,  
канд. техн. наук О. В. Бабіч

#### Рецензент

**І. С. Зайцева**, кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою хімії та інтегрованих технологій,  
протокол № 5 від 14.12.2023*

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія. Подано вимоги до оформлення, засоби та послідовність виконання завдань, список рекомендованих джерел, наведено приклади оформлення робіт.

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
Практична робота № 1 Становлення науки про силікати. Основні представники природних силікатів.....	6
1.1 Теорії із систематики силікатів.....	6
1.2 Процеси утворення силікатів у земній корі.....	9
1.3 Застосування та штучне походження силікатів.....	11
Контрольні запитання.....	12
Самостійна робота .....	13
Практична робота № 2 Кристалохімічна систематика силікатів.....	13
2.1 Структурна класифікація силікатів.....	13
2.2 Острівні силікати.....	15
2.3 Ланцюгові силікати .....	18
2.4 Шаруваті силікати.....	19
2.5 Каркасні силікати.....	19
Контрольні запитання.....	21
Самостійна робота.....	21
Практична робота № 3 Поняття про склад матеріальних систем.....	21
3.1 Склад матеріальних систем.....	21
3.2 Приведення складу до стовідсоткового.....	24
Приклади розрахунку.....	24
Задачі для практики.....	26
Контрольні запитання.....	27
Самостійна робота.....	27
Практична робота № 4 Хімічний склад матеріалів, виражений у масових та молярних одиницях.....	27
4.1 Подання складу у масових та молярних одиницях.....	27
4.2 Перерахування хімічного складу матеріалів.....	29

4.3 Подання хімічного складу матеріалів у вигляді молекулярної формули .....	30
Приклади розрахунків.....	32
Задачі для практики.....	38
Контрольні запитання.....	40
Самостійна робота.....	40
Практична робота № 5 Подання хімічного складу матеріалів на суху і вологу речовину.....	40
5.1 Перерахунок хімічного складу матеріалів на суху речовину .....	40
Приклади розрахунків.....	41
Задачі для практики.....	43
Контрольні запитання.....	44
Самостійна робота.....	44
Практична робота № 6 Безугарний склад матеріалів.....	44
6.1 Технологічні розрахунки з використанням безугарного складу..	44
Приклади розрахунків.....	46
Задачі для практики.....	49
Контрольні запитання.....	51
Самостійна робота.....	51
Список рекомендованих джерел.....	52
Додаток А.....	53

## ВСТУП

У цьому виданні наведені основні поняття про структуру силікатів та фізико-хімічні процеси, що відбуваються при нагріванні силікатної сировини, розрахунки шихти силікатних матеріалів. Укладачі вважають, що цей матеріал є основним при обґрунтуванні вибору сировинних компонентів для складання формувальних мас та шихт при виробництві конкурентоздатних силікатних матеріалів з урахуванням аспектів ресурсо- і енергозбереження та підвищених вимог до охорони навколишнього середовища.

Мета роботи – формування у студентів знань та вмінь основ технології тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів з урахуванням комплексного підходу при застосуванні теоретичних основ кристалографії, мінералогії та фізичної хімії силікатів для проектування та розрахунку складів із заданими властивостями.

**ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1**  
**СТАНОВЛЕННЯ НАУКИ ПРО СИЛІКАТИ.**  
**ОСНОВНІ ПРЕДСТАВНИКИ ПРИРОДНИХ СИЛІКАТІВ**

План

- 1.1 Теорії із систематики силікатів.
- 1.2 Процеси утворення силікатів у земній корі.
- 1.3 Застосування та штучне походження силікатів.

**1.1 Теорії із систематики силікатів**

Силікати та алюмосилікати є великою групою мінералів. Для них характерний складний хімічний склад та ізоморфні заміщення одних елементів та комплексів елементів іншими. Головними хімічними елементами, що входять до складу силікатів, є O, Si, Al, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mg, Mn, Ca, Na, K, а також Li, B, Be, Zr, Ti, F, H у вигляді (OH)<sup>-</sup> або H<sub>2</sub>O тощо.

Загальна кількість мінеральних видів силікатів – близько 800. За поширеністю на їхню частку припадає понад 90 % мінералів літосфери. Силікати та алюмосилікати є породоутворювальними мінералами. Із них складена основна маса гірських порід: польові шпати, кварц, слюди, рогові обманки, піроксени, олівін тощо. Найпоширенішими є мінерали групи польові шпати, а також кварц, на частку якого припадає близько 12 % від усіх мінералів.

Хоча історія розвитку людського суспільства тісно переплетена з використанням силікатів як природного, так і штучного походження, науковий підхід до вивчення цих сполук сформувався відносно пізно – наприкінці XVIII – початку XIX століття – разом із становленням хімічної науки. Це пояснюється й специфічними особливостями силікатів: складністю будови, варіаціями хімічного складу, нерозчинністю та хімічною пасивністю, здатністю до переходу в нестабільні стани та високою температурою плавлення.

Першою науковою теорією із систематики силікатів була так звана *полікремнева теорія силікатів*, яка протягом тривалого часу (кінець першої половини XIX – 20-ті роки XX століття) відігравала важливу роль у хімії силікатів. Згідно з цією теорією силікати розглядалися як солі кремнієвих кислот загальної формули  $n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$  ( $n, m$  – цілі числа). Метакремнієва  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  ( $n = 1, m = 2$ ), двомактемнієва  $\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5$  ( $n = 2, m = 1$ ), пірокремнієва  $\text{H}_6\text{Si}_2\text{O}_7$  ( $n = 2, m = 3$ ) кислоти – солі цих кислот отримали назви мета-, двомета-, орто- й піросилікати відповідно. Для простих силікатів такі назви загальноприйняті і в наш час. Неможливість виділення кремнієвих кислот у чистому вигляді через їх колоїдний характер залишала відкритим питання про солеподібну природу силікатів. Більш того, різноманіття силікатів не укладалося в рамки цієї теорії.  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$  і лейцит  $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$  відносяться, здавалося б, до солей метакремнієвої кислоти, але за своїми властивостями відрізняються один від одного. Однак при формуванні полікремнієвої теорії було висловлено геніальний здогад про полімеризацію атомів кремнію через атоми кисню.

У працях, присвячених природі силікатів, Д. І. Менделєєв вказував на протиріччя полікремнієвої теорії. Він висловив ідею про ізоморфне заміщення в силікатах не тільки оксидів однакового типу, а й різних, таких як  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Це наводило на думку про схожість та хімічні властивості цих оксидів. Далі на підставі досить широкої варіації співвідношення між основними та кислотними оксидами у силікатах Д. І. Менделєєв зазначав, що не можна пояснити все різноманіття силікатів лише існуванням полімерних форм кремнієвих кислот. На його думку, силікати становлять не солі, а «невизначені сполуки», такі, наприклад, як сплави, але не простих тіл, а близьких за своїми властивостями оксидів. Д. І. Менделєєв пояснював особливості силікатних «невизначених сполук» не існуванням різних видів полікремнієвих кислот, а полімеризацією більшості сполук кремнію. Вчення Д. І. Менделєєва зіграло велику роль у подальшому розумінні природи силікатів. Наприкінці XIX століття хімічні методи дослідження (аналітичні та синтетичні) вичерпали свої можливості у

пізнанні силікатів. Дослідники почали шукати нові шляхи вирішення проблем силікатів. Найбільш значних результатів було досягнуто у фізико-хімічному та геохімічному напрямках.

*Метод фізико-хімічного аналізу*, створений Н. С. Курнаковим у 20-ті роки ХХ століття, є синтезом ідей хімічної термодинаміки та топології. У рамках цього методу найбільш інформативним виявився розгляд діаграми температура-склад (діаграма стану). Діаграми стану дозволяють судити про температурно-концентраційні інтервали існування кристалічних матеріалів і силікатів, їх перетворення (плавлення, кристалізація, розкладання або сполучення). Результати численних досліджень діаграм стану (бінарних, потрійних та більш компонентних систем) узагальнюються у відповідних довідниках, комп'ютерних банках даних, монографіях та навчальних посібниках. Особливий інтерес діаграми стану становлять розуміння процесів мінералоутворення в матеріалознавстві та технології силікатів. На сьогодні використання *термодинамічного методу* дозволяє коригувати експериментально отримані діаграми стану, передбачати діаграми стану невивчених систем, судити про можливість протікання тих чи інших процесів перетворень силікатів, розраховувати енергоємність цих процесів, порівнювати стійкість сполук, що утворилися, по відношенню до розпаду на близькі. Ці висновки робляться як на основі експериментальних даних, і з допомогою різноманітних модельних уявлень. У цій галузі автором та його співробітниками отримані цікаві результати щодо стійкості силікатних сполук, визначення областей кристалізації із розплавів тих чи інших силікатів.

Видатним представником геохімічного спрямування є В. І. Вернадський, який цікавився саме будовою силікатів. Він створив свою *теорію будови алюмосилікатів* (1891–1937 роки). В. І. Вернадський, як і Д. І. Менделєєв, говорив про близькість хімічних функцій  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та відкидав думку про те, що алюмосилікати є солями кремнієвих кислот. На його думку, алюмосилікати є похідними складних алюмосилікатних радикалів, «каолінових ядер». Гіпотеза



про «каолінове ядро» як про замкнене угруповання атомів Si, Al і O виявилася актуальною при розшифруванні структури польових шпатів.

## 1.2 Процеси утворення силікатів у земній корі

Розглянемо мінеральний склад земної кори з позицій будови кремнекисневих радикалів. За рахунок внутрішньої енергії Землі магма – розплав, що складається з основних порід (ортосилікати магнію і заліза та їх тверді розчини), піднімаючись по тріщинках на поверхню, збагачується кремнеземом, глиноземом, водою. При цьому зі зниженням температури з нього кристалізуються спочатку тугоплавкі мінерали, а розплав, що залишився, знову взаємодіє з породами, що зустрічаються на його шляху, а утворені кристали взаємодіють з гідротермальними водами. Із розчинів, що утворилися, викристалізуються мінерали, що містять воду. Безумовно, це дуже спрощена картина складних геохімічних процесів, що відбуваються насправді.

До основних мінералів відносяться олівін – ортосилікат магнію  $Mg_2SiO_4$ , в якому частина катіонів магнію може бути заміщена на  $Fe^{2+}$ . Тому для олівінів приймається загальна формула  $[Mg,Fe]_2[SiO_4]$ , у якій структура утворена ізольованими тетраедрами  $[SiO_4]^{4-}$ , з'єднаними між собою катіонами. При збільшенні вмісту  $SiO_2$  утворюються піроксени – метасилікати натрію, магнію, кальцію, заліза, що містять нескінченні метасилікатні ланцюжки  $(SiO_3)$ . Залежно від природи катіону знайдено різні види ізольованих і складніших ланцюжків. Мінерал жадеїт  $NaAl[Si_2O_6]$  також відноситься до групи піроксенів, тобто до мінералів з ланцюговою структурою. Іони натрію та алюмінію утворюють катіонну складову структури.

Наступним кроком полімеризації є сполуки, що містять стрічкові кремнієкисневі радикали. За часів У. Л. Брегга такі сполуки вже були відомі. До стрічкових силікатів відносяться амфіболи – гідросилікати Ca, Mg, Fe, що містять групи  $[Si_4O_{11}]^{6-}$ . До амфіболів відноситься і один

з найдавніших мінералів, які використовуються людиною, – нефрит –  $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})[\text{Si}_4\text{O}_{11}](\text{OH})_2$ , і азбести.

Подальша конденсація призводить до утворення шаруватих силікатів. До них відносяться слюди та глини, що містять у своїй структурі угруповання  $[\text{Z}_4\text{O}_{10}]$ , де  $\text{Z}=\text{Si}$  та  $\text{Al}$  у четверній координації щодо кисню. У слюді шари складаються з шестичленних кілець, побудованих з алюмо-і кремнієкисневих тетраедрів. Шарових силікатів існує безліч: шари можуть бути побудовані з п'яти-і шестичленних кілець, які чергуються у певному відношенні, восьми-і п'ятичленних кілець; можуть існувати шари, в яких кремнієкисневий тетраедр необов'язково має три місткові атоми кисню тощо.

І, нарешті, останнім кроком полімеризації є силікати з каркасною будовою, яких теж існує безліч. Прикладом каркасних силікатів можуть бути кремнезем і польові шпати. Польові шпати діляться на плагіоклази (безперервний ряд твердих розчинів у системі альбіт-анортит ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  –  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ )) та калієвий польовий шпат  $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ . Їхня структура є нескінченним об'ємно-зв'язаним каркасом із тетраедрів  $\text{SiO}_4$  і  $\text{AlO}_4$ , у порожнечах якого розташовані іони  $\text{Na}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{K}$ . Сам кремнезем – це зв'язок у кремнієкисневих тетраедрах. До розряду каркасних силікатів, але не польових шпатів, відноситься і згадуваний раніше мінерал лейцит  $\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$ , здавалося б, метасилікат калію та алюмінію. Насправді це каркасний алюмосилікат, у якому атоми алюмінію виконують структурну функцію атомів кремнію. Каркас складається з тетраедрів  $\text{AlO}_4$  та  $\text{SiO}_4$  (усі атоми кисню місткові), у порожнинах якого розташовані іони калію. Польові шпати своєю чергою у результаті процесів вивітрювання перетворюються на глини та різні види кремнезему:



Каолініт – мінерал із шаруватою структурою. Шари складаються із шестичленних кремнієвих кілець. З часом процеси вивітрювання польових шпатів, слюди, тальку, нефеліну призводять до утворення розчинних солей лужних та лужноземельних металів, погано розчинних гідратів оксидів заліза та

алюмінію і гідросилікатів, які переносяться водними розчинами й дають початок утворенню нових мінералів, з яких ніби починається виток утворення силікатних мінералів.

### 1.3 Застосування та штучне походження силікатів

Без силікатних матеріалів – різних видів цементу, бетону, шлакобетону, кераміки, скла, покриттів у вигляді емалей та глазурей навряд чи можна уявити наше повсякденне життя. Масштаби виробництва силікатних матеріалів визначаються значними цифрами.

Найбільш давніми силікатними матеріалами є керамічні матеріали, які одержують з глини та їх сумішей з різними мінеральними добавками, випаленими до каменеподібного стану. У стародавньому світі керамічні вироби були поширені на всій території Землі. З другої половини XIX століття й до теперішнього часу індустріальна керамічна промисловість незмірно розширила випуск та асортимент кераміки. Універсальну класифікацію кераміки створити важко, але можна виділити такі типи:

1. Завдяки економічності виробництва, високим фізико-механічним та художньо-декоративним якостям, керамічні матеріали широко використовуються як *будівельні та декоративні*. Це цегла, пустотілі блоки для стін, перегородок, перекриттів, облицювальні плитки, кахлі, теракотові та майолікові деталі в архітектурі, каналізаційні та дренажні труби.

2. *Вогнетривка кераміка* використовується у виробництві металів, цементу, скла, для кладки високотемпературних печей, футерування їх внутрішніх поверхонь.

3. *Хімічностійкі кераміки* замінюють або захищають метали у виробництвах, пов'язаних з агресивними середовищами, наприклад, у хімічній промисловості.

4. *Тонка кераміка* включає вироби з фарфору і фаянсу. До них відносяться побутовий та хімічний посуд, художні вироби, ізолятори різних типів.

Прикладом штучного силікатного матеріалу є портландцемент, один із найпоширеніших видів мінеральних в'язучих речовин. Цемент використовується для зв'язування будівельних деталей при отриманні масивних будівельних блоків, плит, труб та цегли. Цемент є основою таких будівельних матеріалів, що широко застосовуються, як бетон, шлакобетон, залізобетон. Будівництво будь-якого масштабу неспроможне існувати без цементу. Насамперед цементним клінкером називається продукт випалювання суміші глини та вапняку, а цементом – дрібноподрібнений клінкер з мінеральними добавками, що регулюють його властивості. Цемент застосовується у суміші з піском та водою. Його в'язучі властивості обумовлені здатністю цементних мінералів взаємодіяти з  $H_2O$  й  $SiO_2$  та при цьому тверднути, утворюючи міцну кам'яну структуру. При схоплюванні цементу відбуваються складні процеси: гідратація мінералів з утворенням гідросилікатів та гідроалюмінатів, гідроліз, утворення колоїдних розчинів та їх кристалізація. Дослідження процесів твердіння цементного розчину та мінералів цементного клінкеру відіграли велику роль у становленні науки про силікати та їх технології.

### **Контрольні запитання**

1. Охарактеризувати полікремнієву теорію силікатів. Визначити основний склад у становленні науки про силікати Д. І. Менделєєва.
2. Навести переваги методу фізико-хімічного аналізу при оцінці структури силікатів.
3. Охарактеризувати процеси утворення силікатів у земній корі.
4. Навести процес вивітрювання польових шпатів, які перетворюються на глини та різні види кремнезему.
5. Навести універсальну класифікацію керамік.

## Самостійна робота

1. Скласти історичний опис науки про силікати.
2. Охарактеризувати основних представників групи силікатів.
3. Детально проаналізувати ідеї хімічної термодинаміки та топології

Н. С. Курнакова при вивченні структури силікатів.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

### КРИСТАЛОХІМІЧНА СИСТЕМАТИКА СИЛІКАТІВ

#### План

- 2.1 Структурна класифікація силікатів.
- 2.2 Острівні силікати.
- 2.3 Ланцюгові силікати.
- 2.4 Шаруваті силікати.
- 2.5 Каркасні силікати.

#### 2.1 Структурна класифікація силікатів

За хімічною природою силікати, й особливо силікати складного складу та будови (у т. ч. цементні гідросилікати, цеоліти, силікати з додатковими аніонами та комплексними катіонами), відносяться до типових гетеродесмічних сполук, у яких реалізуються одночасно різні типи хімічного зв'язку – іонний, ковалентний, іонно-ковалентний, координаційний, водневий та інші багатоцентрові зв'язки.

Структурна класифікація силікатів базується на рентгеноструктурних розшифруваннях кристалічної будови найважливіших породоутворювальних силікатних мінералів (переважно з дрібними катіонами Be, Mg, Al, Zn, Fe,

частково Na і K), виконаних починаючи з кінця 20-х років минулого сторіччя У. Бреггом, Л. Полінгом, Нараї Сабо.

В основу структурної систематики (С. Брегг, Ф. Махачки) було покладено будову аніонних угруповань – спосіб зчленування між собою елементарних ланок-правильних кремнієкисневих тетраедрів  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  (рис. 2.1) в аніонні радикали кінцевих розмірів або ж в нескінченні одно-, дво- та тривимірні угруповання.

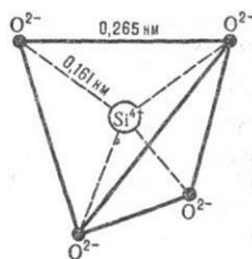


Рисунок 2.1 – Елементарний правильний кремне-кисневий тетраедр  $[\text{SiO}_4]^{4-}$

Починаючи з 1950-х років, у рентгеноструктурних дослідженнях переважно школи Н. В. Белова були розшифровані кристалічні структури силікатів та їх неорганічних аналогів з великими катіонами Na, K, Ca, Ba, рідкоземельних елементів (РЗЕ) тощо. В основі систематики кремнекисневих угруповань за Бреггом лежить розмірна відповідність ребер тетраедрів  $\text{SiO}_4$  і октаедрів  $\text{MgO}_6$ . За Беловим Н. В. для кристалохімії силікатів характерна стерична відповідність ребра октаедра  $\text{CaO}_6$  з відстанню між вершинами диортогрупи  $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$ . Це найбільш наочно ілюструється зчленуванням кремнекисневих ланцюжків з октаедричними колонками Ca- та Mg октаедрів у структурах піроксену енстатиту  $\text{Mg}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$ , (рис. 2.2, а) та піроксеноїду воластоніту  $\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$ , (рис. 2.2, б).

Для кристалохімії силікатів за Беловим Н. В. визначальним критерієм конструювання або формування типу кристалічної структури силікатів та їх неорганічних аналогів було задіяно принцип «пристосовуваності» кремнієкисневих аніонних угруповань до значно більших поліедрів катіонів.

При класифікації силікатів виділяють елементарну ланку, що бере участь у побудові кремнекисневого аніонного каркасу  $\text{Si}_3\text{O}_{10}^{8-}$ , – орто-, диорто- й триортогрупи.

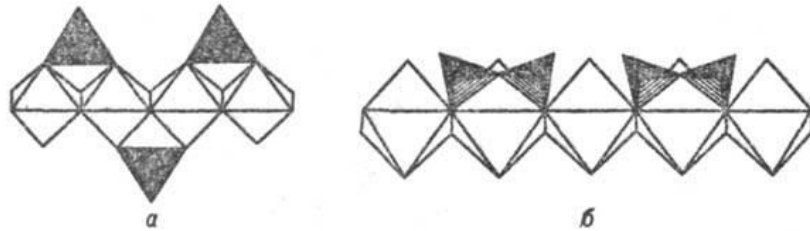


Рисунок 2.2 – Елементарні кремнієкисневі одиниці-ортогрупи у структурі Mg піроксену енстатиту (а) та диортогрупи у Ca-піроксеноїді воластоніті (б)

Загалом силікати можуть бути підрозділені на два класи: сполуки з кінцевими розмірами кремнієкисневих угруповань (острівні структури) і з нескінченними повтореннями кремнієкисневих тетраедрів при найрізноманітніших способах їх ізчленування (полімерні або конденсаційні структури). Причому аніонний кістяк кристалічної ґратки, поряд з кремнієвими аніонами, може включати додаткові аніони –  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$  і деякі інші.

## 2.2 Острівні силікати

Острівні силікати діляться на сполуки з одиночними кремнекисневими тетраедрами – ортосилікати (рис. 2.3, а) та зі здвоєними тетраедрами – диортосилікати (рис. 3, б). До таких силікатів відносяться олівін  $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ , циркон  $\text{ZrSiO}_4$ , гранати тощо. Сполуки зі здвоєними тетраедрами – мінерали групи тортвейтиту  $\text{Sc}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ , меліліту та широкий клас піросилікатів РЗЕ (рис. 2.3, б). Порівняно з орто- та диортосилікатами значно менш поширені силікати з відкритими лінійними три- та тетраортогрупами, наприклад кіноїт  $\text{Cu}_2\text{Ca}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Серед природних та штучних силікатів широкого поширення набули сполуки з циклічними (замкнутими) кремнієкисневими угрупованнями з трьох-, чотирьох-, шестиланкових (рис. 2.3, в, г, д) і більш

складних (восьми-, дев'яти-, дванадцятичленних) кілець. До цієї групи острівних метасилікатів відноситься, наприклад, псевдоволластоніт  $\beta\text{-Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_9$  (рис. 2.3, в). У берилі  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$  реалізується шестичленний кільцевий аніон (рис. 2.3, д) з двома містковими Si–O–Si зв'язками, що припадають на кожен тетраедр, як і в інших циклічних аніонах.

Відомі кристалічні структури острівних силікатів із здвоєними, конденсованими «двоповерховими» три-, чотири- та шестиланковими кільцевими аніонами. Наприклад, у мінералі еканіті  $\text{ThK}(\text{Ca},\text{Na})_2\text{Si}_8\text{O}_{20}$  реалізується здвоєний чотириланковий кільцевий аніон. Аналогічний кремнієкисневий аніон виявлений у силікатах з комплексними катіонними угрупованнями, наприклад, тетраметиламонієвими у сполуці  $[\text{N}(\text{CH}_3)_4]_8\text{Si}_8\text{O}_{20}$ . Здвоєне «двоповерхове» шестиланкове кільце виявлено у спорідненому берилі мілариті  $\text{K}(\text{Be}_2\text{Al})\text{Ca}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$ . У «двоповерхових» циклічних кремнієкисневих угрупованнях число місткових зв'язків на кожен тетраедр підвищується відповідно до трьох. Для багатьох складних за складом острівних силікатів характерне поєднання в аніонному кістяку одночасно декількох різних кремнієкисневих угруповань, найчастіше орто-й диортогруп.

Клас полімерних, або конденсованих силікатів поділяють на 4 підкласи:

1. Ланцюгові силікати з нескінченними ланцюжками з одиночних кремнієкисневих тетраедрів, кожен з яких з сусідніми має по два місткові зв'язки. Цей структурний тип метасилікатів охоплює велику групу породоутворювальних мінералів та їх синтетичних аналогів, моноклінних та ромбічних піроксенів і піроксеноїдів широкого діапазону складів: енстатит  $(\text{MgFe})_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$ , диопсид  $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ , сподумен  $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ , волластоніт –  $\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$  тощо. Представники піроксен-піроксеноїдних силікатів з періодом повторюваності з 2, 3, 5 кремнієкисневих тетраедрів і більше вздовж осі ланцюжка наведені на рисунку 2.4.



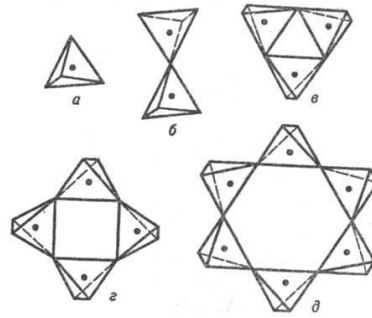


Рисунок 2.3 – Найпростіші типи острівних кремнієвих аніонних угруповань:  
 а –  $\text{SiO}_4$ ; б –  $\text{Si}_2\text{O}_7$ ; в –  $\text{Si}_3\text{O}_9$ ; г –  $\text{Si}_4\text{O}_{12}$ ; д –  $\text{Si}_6\text{O}_{18}$

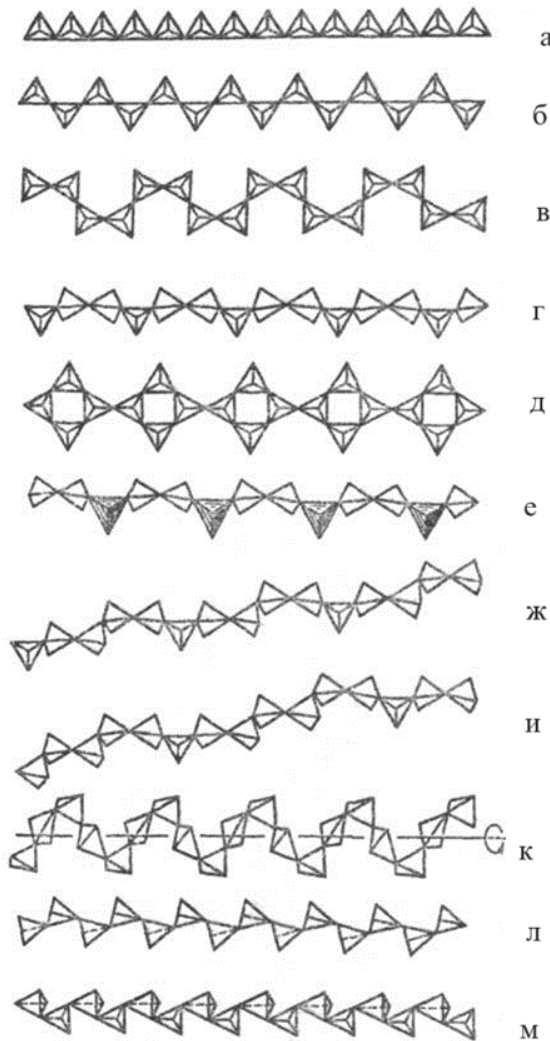


Рисунок 2.4 – Найважливіші типи кремнекисневих ланцюгових аніонних угруповань (за Беловим):  
 а – метагерманатне; б – піроксенове; в – батиситове; г – воластонітове;  
 д – власовітове; е – мелілітове; ж – родонітове; и – піроксмангітове;  
 к – метафосфатне; л – фтороберилатне; м – барилітове

## 2.3 Ланцюгові силікати

Силікати із ланцюговими (стрічковими) кремнієкисневими аніонами з двох-, трьох- і n-рядних ланцюжків, сконденсованих між собою по бічних зв'язках перпендикулярно до ланцюжка, представлені на рисунку 2.5.

У природі найбільш поширені в цьому підкласі амфіболові та амфіболоподібні азбести – волокнисті силікати з дворядними стрічковими аніонами, найважливіші представники – мінерали тремоліт  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_8\text{O}_{22}\cdot\text{OH})_2$  та рогова обманка  $(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{MgAl})_5(\text{Al}, \text{Si})_2(\text{OH})_2$ .

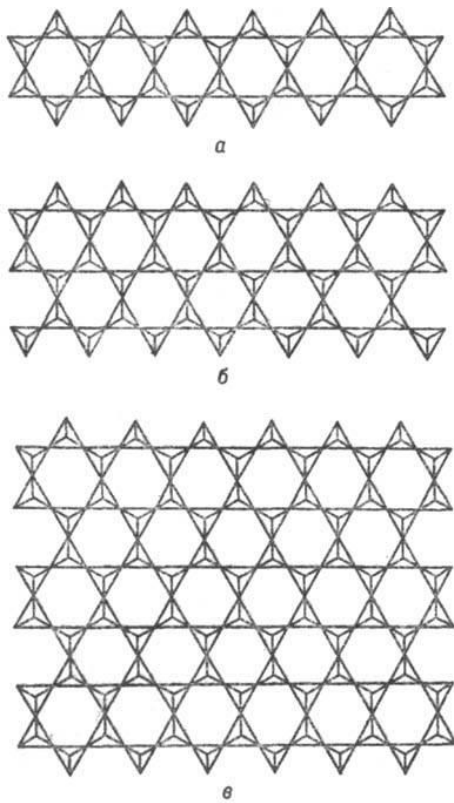


Рисунок 2.5 – Конденсація піроксенових кремнієкисневих аніонів у стрічкові дворядні амфіболові (а), трирядні амфіболоподібні (б), шаруваті амфіболоподібні (б), шаруваті талькові та близькі до них аніони (в)

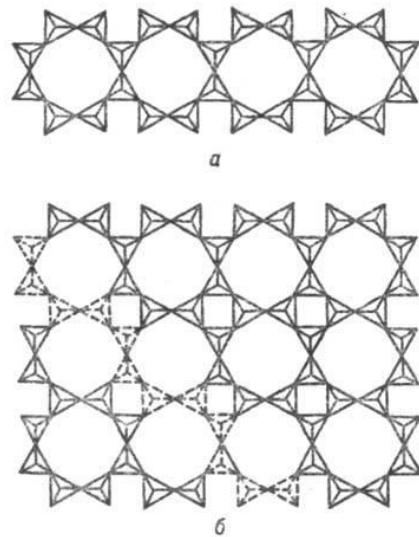


Рисунок 2.6 – Структурно-гомологічний ряд кремнієкисневих аніонних угруповань ксонотліту (а) та тобермориту (б); волластоніту

Стрічковий аніон цементного мінералу ксонотліту  $\text{Ca}_6(\text{Si}_6\text{O}_{17}) (\text{OH})_2$  (рис. 2.6, а) – продукт конденсації воластонітових ланцюжків (рис. 2.4, б або 2.4, г) – складається з восьмичленних кілець, на відміну від шестиланкових гексагональних кілець амфіболових стрічок (рис. 2.5, а; 2.6; 2.7).

Силікати з двовимірними шаруватими або листовими аніонами характеризуються широким розмаїттям можливих зчленувань кремнієкисневих тетраедрів у правильні або низькосиметричні шести-, чотири- і восьмичленні кільця з тетрагональною та ромбічною симетрією шару, восьми-, шести- і чотиричленні кільця, єдино пов'язані в шаруватому аніоні тощо (рис. 2.5, в; 2.6, б).

## 2.4 Шаруваті силікати

У природі шаруваті силікати – це групи слюд (мусковіт, біотит, тальк, пірофіліт тощо), глинисті мінерали (каолініт  $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10}) (\text{OH})_8$ ) тощо.

Кремнієкисневі сітчасті аніони утворені правильними шестичленними кільцями з тетраедрів  $\text{SiO}_4$ . Ці сітки є продуктом конденсації піроксенових або амфіболових стрічок (рис. 2.5). Будова шаруватих силікатів визначає їх чітку спайність по базальній площині (паралельно до шарів), найбільш виразно проявляється у слюдах (рис. 2.8). При конденсації в площині воластонітових ланцюжків ( $\text{Si}_3\text{O}_9$ ) (рис. 2.2, б; або 2.4, г) або ксонотлітових стрічок ( $\text{Si}_6\text{O}_{17}$ ), (рис. 2.6, а) утворюються тетрагон, тоберморитові сітки  $\text{Ca}_5(\text{Si}_6\text{O}_{16})(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (рис. 2.6, б).

## 2.5 Каркасні силікати

До силікатів каркасної будови належать багаточисельні групи алюмосилікатів (меншою мірою – боросилікати), зв'язаний каркас яких утворений чотирма містковими зв'язками і має загальну формулу  $(\text{Al}_m\text{Si}_n \cdot m\text{O}_{2n})_m$ . Надлишковий заряд аніонного остову з (Al, Si)-тетраедрів

електростатично компенсується лужними катіонами, що містяться у порожнинах каркасної структури.

Серед каркасних алюмосилікатів найбільше в природі поширені лужні польвошпатові силікати: тверді розчини альбіту  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  й ортоклазу  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , а також альбіту та анортиту  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , відомі під назвами плагіоклазів. Каркасні силікати цеоліти характеризуються великими внутрішніми порожнинами й вхідними каналами, у яких ґратки можуть абсорбувати великі молекули діаметром 0,3–0,5 нм і більше (рис. 2.9).

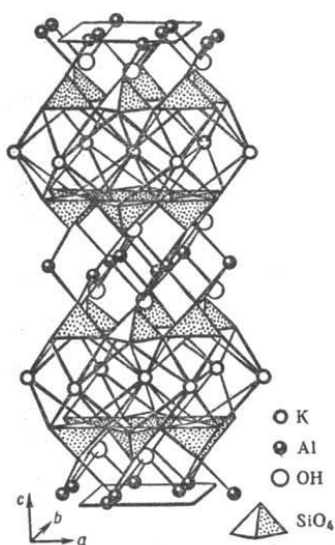


Рисунок 2.8 – Фрагмент (елементарний пакет) шаруватої кристалічної структури мусковіта  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10}\text{OH})_2$ , що ілюструє перешаровування алюмокремнієкисневих сіток з поліедричними шарами великих катіонів Al та K

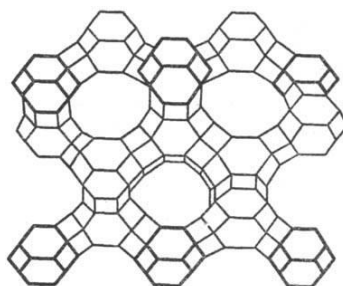


Рисунок 2.9 – Проекція фрагмента пористої кристалічної структури цеоліту фожазиту (фожазиту) із широкими вхідними каналами еліптичного перерізу

## **Контрольні запитання**

1. Проаналізувати структурну систематику силікатів за С. Бреггом.
2. У чому особливість підходу Н. В. Белова до конструювання або формування типу кристалічної структури силікатів?
3. Навести найпростіші типи острівних кремнієвих аніонних угруповань.
4. Навести найважливіші типи кремнекисневих ланцюгових аніонних угруповань за Н. В. Беловим
5. Охарактеризувати структуру шаруватих силікатів.

## **Самостійна робота**

Скласти перелік кристалохімічної систематики силікатів з урахуванням основних поліедрів.

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3 ПОНЯТТЯ ПРО СКЛАД МАТЕРІАЛЬНИХ СИСТЕМ**

### **План**

- 3.1 Склад матеріальних систем.
- 3.2 Приведення складу до стовідсоткового.
- 3.2 Приклад розрахунку.

### **3.1 Склад матеріальних систем**

Під складом речовини, технологічної суміші, матеріалу, інакше кажучи, будь-якої системи розуміють сукупність елементів системи (або компонентів системи).

Склад системи може бути якісним (у вигляді переліку компонентів, що складають систему) та кількісним (із зазначенням вмісту кожного компонента системи).

Склади різних систем у силікатних технологіях прийнято поділяти на такі:

- 1) хімічний;
- 2) шихтовий (або матеріальний);
- 3) мінеральний;
- 4) фазовий;
- 5) гранулометричний.

Хімічний склад характеризує сукупність хімічних елементів або їх сполук, які містяться у системі, що розглядається. Стосовно силікатних технологій під системою слід розуміти хімічну речовину, сировинний матеріал, матеріал готового виробу, суміш сировинних матеріалів (так звану технологічну суміш). Технологічна суміш у силікатних виробництвах – це узагальнене поняття, яке включає у себе:

1) шихту як умовно суху суміш підготовлених сировинних матеріалів, відважених у відповідності до рецепту;

2) керамічний шлікер, пластичну масу та прес-порошок як суміш шихти із різним вмістом технологічної вологи та шлікер для гарячого лиття із термопластичною зв'язкою;

3) емалевий чи поливний шлікер як суміш фрити або сировини із добавками та високим вмістом технологічної вологи.

Хімічний склад будь-якої системи може бути виражений в атомних, молярних, масових, об'ємних процентах або частках. У силікатних технологіях частіш за все користуються оксидним складом, вираженим через масові чи молярні проценти, масові чи мольні частки оксидів, а також через так звану молекулярну формулу. Хімічний склад сировини визначають експериментально методами хімічного аналізу відповідно до чинної нормативно-технічної документації. Хімічний склад технологічної суміші та готового продукту може бути отриманий розрахунковим шляхом.

Шихтовий склад характеризує сукупність компонентів, а саме сировинних матеріалів, які містяться у складі технологічної суміші (шихти). Шихтовий склад виражають у процентах по відношенню до загальної вагової кількості шихти. Традиційно склалося так, що в технології в'язучих речовин шихтовий склад називають просто сировинною сумішшю.

Мінеральний склад характеризує сукупність мінералів, що містяться у складі сировинного матеріалу або технологічної суміші. Мінеральний склад, так само як і шихтовий, виражають у процентах по відношенню до загального вмісту мінералів. Експериментально мінеральний склад сировини, наприклад глини, визначають комплексним методом, який включає петрографічний, рентгенофазовий та термічний аналізи. Існують також розрахункові методики для визначення мінерального складу сировини та технологічної суміші.

Фазовий склад – це кількісна або якісна характеристика наявності в системі різних за агрегатним станом фаз. Фаза – це гомогенна частина системи, яка має однакові хімічні, фізичні та термодинамічні властивості. Сусідні фази мають поверхню поділу і за необхідності можуть бути відокремлені одна від іншої різними шляхами. Фазовим складом, як правило, характеризують готовий матеріал – продукт силікатної технології. Наприклад, традиційна кераміка – це завжди трифазна система, що складається із газової фази (пор), твердої фази, представленої кристалічними речовинами і склофазою. Але поняття фазового складу може бути застосовано і до різних технологічних сумішей – наприклад, до керамічного прес-порошку, який представляє собою трифазну систему, що включає газову фазу (повітря), тверду фазу (гранули) та рідку (волога).

До характеристик фазового складу можна віднести вид та кількість фаз, їх модифікації, дисперсність, структурні та морфологічні особливості. Для визначення фазового складу використовують різні методи фазового аналізу (рентгенофазовий та рентгеноструктурний аналізи, оптичну та електронну мікроскопію, інфрачервону спектроскопію тощо). Виражають фазовий склад у відсотках по відношенню до загального вмісту фаз у системі.

Гранулометричний (зерновий, фракційний) склад – виражений у відсотках вміст часточок, зерен чи гранул різних розмірів по відношенню до загальної кількості порошкового матеріалу. Стосовно природної глинистої сировини частіше користуються терміном «гранулометричний склад», стосовно підготовлених до формування порошків – терміном «фракційний склад». Гранулометричний склад порошкового матеріалу визначають експериментально седиментаційним, ситовим та іншими методами.

### 3.2 Приведення складу до стовідсоткового

Хімічний склад матеріалу, визначений методом хімічного аналізу, розрахований шихтовий склад, мінеральний склад, отриманий за допомогою петрографічного аналізу, у більшості випадків не становить 100 %. Технологічні розрахунки зі складом систем, не приведеним до 100 %, є трудомісткими та можуть призвести до значних похибок і навіть технологічних помилок. Тому завжди при проведенні розрахунків потрібно користуватися складом, перерахованим на 100 %. Для перерахування хімічного складу матеріалу на стовідсотковий використовується формула

$$X_i^* = \frac{X_i}{\sum X_i} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де  $X_i$  – вміст компонента у складі, не приведену до 100 %;

$\sum X_i$  – сумарний вміст компонентів, %;

$X_i^*$  – вміст компонента у складі, приведену до 100 %.

#### Приклади розрахунків

*Приклад 1.* За даними хімічного аналізу склад Глуховецького каоліну становить, мас. % :  $\text{SiO}_2$  – 47,4;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 38,6;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,48;  $\text{MgO}$  – 0,62;  $\text{CaO}$  – 1,5; в.п.п. – 7,4. Необхідно привести склад до 100 %.



За формулою (1) визначаємо вміст кожного оксиду у складі каоліну, мас. %:

$$X(\text{SiO}_2) = 47,4 \cdot 100 / 96 = 49,38$$

$$X(\text{Al}_2\text{O}_3) = 38,6 \cdot 100 / 96 = 40,21$$

$$X(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,48 \cdot 100 / 96 = 0,50$$

$$X(\text{MgO}) = 0,62 \cdot 100 / 96 = 0,65$$

$$X(\text{CaO}) = 1,5 \cdot 100 / 96 = 1,56$$

$$X(\text{в.п.п.}) = 7,4 \cdot 100 / 96 = 7,7$$

Таким чином, склад Глуховецького каоліну, приведений до 100 %, становить (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 49,38;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 40,21;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,5;  $\text{MgO}$  – 0,65;  $\text{CaO}$  – 1,56; в.п.п. – 7,7.

*Приклад 2.* Шихта для виготовлення скла, розрахована за його хімічним складом, містить сировинні матеріали у такій кількості: кальцинована сода – 27 кг; доломіт – 17 кг; крейда – 6 кг; пісок – 71 кг; глинозем – 0,15 кг. Необхідно навести рецепт шихти, який виражається у процентах.

Сумарний вміст сировини у шихті становить 121,15 кг.

Далі за формулою (1) визначаємо вміст кожного сировинного матеріалу у складі шихти, мас. %:

$$X(\text{сода}) = 27 \cdot 100 / 121,15 = 22,29$$

$$X(\text{доломіту}) = 17 \cdot 100 / 121,15 = 14,03$$

$$X(\text{крейди}) = 6 \cdot 100 / 121,15 = 4,95$$

$$X(\text{піску}) = 71 \cdot 100 / 121,15 = 58,61$$

$$X(\text{глинозему}) = 0,15 \cdot 100 / 121,15 = 0,12$$

Звідси рецепт шихти буде таким: сода – 22,29 %, доломіт – 14,03 %; крейда – 4,95 %; пісок – 58,61 %; глинозем – 0,12 %.

### Задачі для практики

1. Хімічний склад фарфорової маси за даними хімічного аналізу становить, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 63,03;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 25,27;  $\text{TiO}_2$  – 0,05;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,8;

2.  $\text{MgO}$  – 0,25;  $\text{CaO}$  – 0,91;  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  – 4,01; в.п.п. – 5,02. Приведіть склад маси до стовідсоткового.

3. Хімічний склад фаянсу, отриманий розрахунковим шляхом на підставі його шихтового складу та хімічного складу сировини, становить мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 63,03;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 20,27;  $\text{TiO}_2$  – 0,05;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,8;  $\text{MgO}$  – 0,25;  $\text{CaO}$  – 0,21;  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  – 4,01. Приведіть склад фаянсу до стовідсоткового.

4. Перерахуйте склад піскуватої глини на 100 %, якщо її хімічний склад за даними хімічного аналізу становить, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 75,49;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 12,74;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2,93;  $\text{MgO}$  – 0,49;  $\text{CaO}$  – 1,57; в.п.п. – 6,77.

5. Наведіть мінеральний склад каоліну, виходячи із такого вмісту мінералів у каоліні (у масових частках): каолініт – 92,85; кварц – 4,46.

6. Наведіть рецепт шихти для виготовлення фритованої поливи, виходячи із таких даних про вміст сировини у складі шихти (кг): пісок – 55,0; сода – 27,0; доломіт – 19,0; крейда – 6,0; глинозем – 0,15.

7. Порівняйте, у якому з наведених нижче сировинних матеріалів міститься більше оксиду заліза. Хімічний склад каоліну за даними хімічного аналізу (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 47,4;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 38,6;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,48;  $\text{MgO}$  – 0,62;  $\text{CaO}$  – 1,5; в.п.п. – 7,4. Хімічний склад тугоплавкої глини (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 60,52;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 23,53;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 3,03;  $\text{MgO}$  – 0,54;  $\text{CaO}$  – 1,25;  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  – 2,24; в.п.п. – 9,88.

8. Наведіть фракційний склад прес-порошку, якщо за результатами ситового аналізу 1 кг порошку його часточки за розміром розподіляються таким чином: більше 5 мм – 10 г, від 5 мм до 3 мм – 110 г, від 3 мм до 2 мм – 80 г, від 2 мм до 1 мм – 250 г, менше 1 мм – 450 г.

9. Приведіть хімічний склад глин Новорайського родовища (ДН-0, ДН-1, ДН-2 та ДНПК-1) до 100 % та порівняйте вміст у них забарвлювальних оксидів. Хімічний склад глин представлений на рисунку 1 додатка А.

### **Контрольні запитання**

1. Охарактеризувати склад матеріальних систем.
2. Які методи застосовують для визначення фазового складу керамічних матеріалів?
3. Що характеризує собою технологічна суміш у силікатних виробництвах?

### **Самостійна робота**

Привести склад до стовідсоткового за обраним прикладом.

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА 4**

### **ХІМІЧНИЙ СКЛАД МАТЕРІАЛІВ, ВИРАЖЕНИЙ У МАСОВИХ ТА МОЛЯРНИХ ОДИНИЦЯХ**

#### **План**

- 4.1 Подання складу у масових та молярних одиницях.
- 4.2 Перерахування хімічного складу матеріалів.
- 4.3 Подання хімічного складу матеріалів у вигляді молекулярної формули.

#### **4.1 Подання складу у масових та молярних одиницях**

У силікатних технологіях хімічний склад чистих речовин, природної сировини, технологічних сумішей і матеріалів виражають у масових або молярних одиницях.

Найбільш поширеним для практики є вираження складу матеріалів у масових відсотках, які становлять масову частку компонента (оксиду) у сумарній кількості усіх компонентів, яка приймається за 100 %. Саме у такому вигляді надаються результати хімічного аналізу сировини і матеріалів. Вміст

окремих компонентів (оксидів) у матеріалі в масових відсотках визначають за такою формулою:

$$P_i = \frac{p_i}{\sum p_i} \cdot 100 \quad \%, \quad (2)$$

де  $P_i$  – вміст  $i$ -го компонента (оксиду) в матеріалі у мас. %;

$p_i$  – масовий вміст  $i$ -го компонента (оксиду) в матеріалі (мас. ч.);

$\sum p_i$  – сумарний вміст усіх компонентів (оксидів) у матеріалі (мас. ч.).

Крім цього, хімічний склад може бути виражений у масових частках, які становлять масову частку компонента (оксиду) у сумарній кількості усіх компонентів, яка приймається за 1. Вміст окремих компонентів (оксидів) у матеріалі у масових частках визначають за такою формулою:

$$P_i^* = \frac{p_i}{\sum p_i}, \quad (3)$$

де  $P_i^*$  – вміст  $i$ -го компонента (оксиду) в матеріалі у масових частках;

$p_i$  – масовий вміст  $i$ -го компонента (оксиду) в матеріалі (мас. ч.);

$\sum p_i$  – сумарний масовий вміст усіх компонентів (оксидів) у матеріалі (мас. ч.).

Очевидно, що масовий відсоток компонента у сто разів більший за його масову частку, і перехід від масових відсотків компонентів до їх масових часток здійснюється шляхом ділення відповідного відсотка на 100.

Склад матеріалів, виражений у молярних одиницях (мольних числах, мольних частках та молярних відсотках), зазвичай використовують у наукових дослідженнях та розробках, наприклад, при розрахунках у фізико-хімічних системах оксидів, при розрахунках властивостей матеріалів тощо. Крім цього, такий спосіб вираження хімічного складу можна зустріти в науково-технічній літературі за спеціальністю початку ХХ сторіччя. Для коректного порівняльного аналізу хімічного складу матеріалів за будь-яким критерієм вони мають бути приведені до одного виду, тобто виражені якимось одним з наведених способів. Отже, технологам необхідно вміти переходити від хімічного складу матеріалу, вираженого у масових одиницях, до складу, вираженого у молярних одиницях, і навпаки.

Вміст окремих компонентів у матеріалі в мольних числах визначають за формулою

$$n_i = \frac{P_i}{M_i}, \quad (4)$$

де  $n_i$  – число молів  $i$ -го компонента (оксиду);

$P_i$  – вміст  $i$ -го компонента (оксиду) в матеріалі у мас. %;

$M_i$  – молярна маса компонента, г/моль.

Сума мольних чисел компонентів у будь-якому складі завжди більша за одиницю.

Вміст окремих компонентів у матеріалі в мольних частках визначають за формулою

$$n_i^* = \frac{n_i}{\sum n_i}, \quad (5)$$

де  $n_i^*$  – мольна частка  $i$ -го компонента (оксиду);

$n_i$  – число молів  $i$ -го компонента (оксиду);

$\sum n_i$  – сума чисел молів усіх компонентів (оксидів). Сума мольних часток компонентів у будь-якому складі завжди дорівнює 1.

Вміст компонентів у матеріалі у молярних відсотках визначають за формулою

$$N_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \cdot 100 \%, \quad (6)$$

де  $N_i$  – вміст  $i$ -го компонента (оксиду) в матеріалі у мол. %;

$n_i$  – число молів  $i$ -го компонента;

$\sum n_i$  – сума молів усіх компонентів матеріалу.

## 4.2 Перерахування хімічного складу матеріалів

Перерахунок складу матеріалу з молярних відсотків на масові відсотки проводиться за формулою

$$P_i = \frac{N_i \cdot M_i}{\sum N_i \cdot M_i} \cdot 100 \%, \quad (7)$$

де  $P_i$  – вміст  $i$ -го компонента (оксиду) в матеріалі, мас. %;

$N_i$  – вміст  $i$ -го компонента (оксиду) в матеріалі, мол. %;

$M_i$  – молярна маса  $i$ -го компонента (оксиду), г/моль.

Для зворотного перерахунку складу з масових відсотків у молярні можна послідовно скористатися формулами (4) і (6) або формулою (8)

$$N_i = \frac{P_i / M_i}{\sum P_i / M_i} \cdot 100 \%, \quad (8)$$

де  $N_i$  – вміст  $i$ -го компонента (оксиду) в матеріалі, мол. %;

$P_i$  – вміст  $i$ -го компонента (оксиду) в матеріалі, мас. %;

$M_i$  – молярна маса  $i$ -го компонента (оксиду), г/моль.

### 4.3 Подання хімічного складу матеріалів у вигляді молекулярної формули

Склад силікатних матеріалів зазвичай є багатокомпонентним, що викликає певні труднощі при їх порівняльному аналізі за будь-яким критерієм, особливо коли це стосується великої кількості складів матеріалів.

Для зручності орієнтування у багатокомпонентному складі матеріалів, а отже, і їх властивостях часто застосовується особливий спосіб вираження складу матеріалів через спеціальну формулу – так звану молекулярну формулу, або формулу Зегера, названу так за ім'ям ученого, що її запропонував. Такий спосіб вираження складу матеріалу застосовують для традиційних керамічних матеріалів, емалей, полив, іноді стекол. Формула Зегера практично не використовується в технології вогнетривів і спеціальної кераміки.

Для виведення молекулярних формул, що відповідають складу силікатних матеріалів, останні можна собі уявити як солі кремнієвої кислоти (силікати), у яких водень заміщений металом, наприклад,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  або  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{Si}_4\text{O}_9$  або  $\text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaSiO}_3$  або  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

Виходячи з цього, склад матеріалу можна подати у вигляді формули, в якій числа молів кожного основного оксиду одновалентного чи двовалентного металу записуються ліворуч, а числа молів кожного з інших

оксидів ( $R_2O_3$ ,  $RO_2$ ) – праворуч. За такою схемою отримується молекулярна формула вигляду  $(R_2O, RO) \cdot R_2O_3 \cdot RO_2$ .

Молекулярна формула дозволяє встановити співвідношення кислотних оксидів до основних і характеризує ступінь насичення  $SiO_2$  та  $Al_2O_3$  оксидами типу  $R_2O$  і  $RO$ . Співвідношення кислотних та основних оксидів значною мірою визначає властивості матеріалів, наприклад, ступінь кислотності керамічного матеріалу та його тугоплавкість, плавкість полив та емалей (температури їх розм'якшення і розливу).

У загальному випадку чим більше у хімічному складі матеріалу міститься  $SiO_2$ , тим більш кислототривким виявиться матеріал, чим більше у складі  $Al_2O_3$  та  $SiO_2$ , тим більш тугоплавким буде матеріал. Подання хімічного складу матеріалу через молекулярну формулу є дуже корисним при аналізі та обґрунтуванні вибору складу матеріалів із широкого кола складів.

При складанні формули Зегера спочатку визначають число молів кожного оксиду, що входить до складу матеріалу (формула (4)). Суму лужних і лужноземельних оксидів ( $RO + R_2O$ ), які містяться у матеріалі, прирівнюють до одиниці та розраховують числа молів оксидів типу  $R_2O_3$  і  $RO_2$ , що припадають на 1 моль  $RO + R_2O$ . Отримані значення поділяють на три основні групи за принципом



Таким чином, хімічний склад повинен відповідати загальній формулі

$$1(RO + R_2O) \cdot m R_2O_3 \cdot n RO_2, \quad (9)$$

де  $R_2O$  –  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $Li_2O$  та інші оксиди 1 групи таблиці Д. І. Менделєєва;

$RO$  –  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SrO$ ,  $BaO$  та ін.;

$R_2O_3$  –  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  та ін.;

$RO_2$  –  $SiO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ , а також  $B_2O_3$  та сполуки F;

$m$  – сума молів оксидів  $R_2O_3$ ;  $n$  – сума молів оксидів  $RO_2$ .

Розрахунки виконують без урахування втрат при прожарюванні, оскільки вони не беруть участі в утворенні матеріалу у процесі випалу.

Записи складу матеріалів у вигляді молекулярної формули можна зустріти в класичних працях із технології кераміки і полив (Орлов Є. І., Будніков П. П., Августінік А. І.), із технології емалей (Варгін В. В.).

Для перерахунку хімічного складу матеріалу з молекулярної формули на масові відсотки (як найбільш поширений спосіб подання хімічного складу матеріалу) необхідно послідовно перейти до масових часток оксидів, перемножуючи число молів компонентів на їхні молярні маси, а потім до масових відсотків (приклад буде наведено нижче).

### Приклади розрахунків

У таблиці 4.1 наведено хімічний склад матеріалу (у цьому випадку скловидної поливи), отриманий за даними хімічного аналізу, і молярні маси компонентів, розраховані за молекулярною масою хімічних елементів (див. табл. Д. І. Менделєєва).

Таблиця 4.1 – Хімічний склад матеріалу

Компоненти	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Вміст оксидів, мас. частки	55,8	11,7	0,5	17,0	6,0	3,2	3,3	4,5
Молекулярна маса оксидів, г/моль	60,1	102,0	159,7	223,2	56,1	94,2	62,0	69,7



*Приклад 1.* Перерахунок хімічного складу матеріалу у масові відсотки.

Сума масових часток оксидів у наведеному складі дорівнює 102. Використовуючи формулу (3), для кожного оксиду визначимо його вміст у матеріалі, мас. %

$$P(\text{SiO}_2) = 55,8 \cdot 100 / 102 = 54,71$$

$$P(\text{Al}_2\text{O}_3) = 11,7 \cdot 100 / 102 = 11,47$$

$$P(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,5 \cdot 100 / 102 = 0,49$$

$$P(\text{PbO}) = 17,0 \cdot 100 / 102 = 16,67$$

$$P(\text{CaO}) = 6,0 \cdot 100 / 102 = 5,88$$

$$P(\text{K}_2\text{O}) = 3,2 \cdot 100 / 102 = 3,14$$

$$P(\text{Na}_2\text{O}) = 3,3 \cdot 100 / 102 = 3,24$$

$$P(\text{B}_2\text{O}_3) = 4,5 \cdot 100 / 102 = 4,4$$

*Приклад 2.* Перерахунок хімічного складу матеріалу у масові частки.

Для подання складу поливи у масових частках можна використати формулу (8) або ж просто поділити масові відсотки компонентів на 100. Тоді склад поливи у масових частках становитиме:  $P^*(\text{SiO}_2) = 0,55$ ;  $P^*(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,11$ ;  $P^*(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,005$ ;  $P^*(\text{PbO}) = 0,17$ ;  $P^*(\text{CaO}) = 0,06$ ;  $P^*(\text{K}_2\text{O}) = 0,03$ ;  $P^*(\text{Na}_2\text{O}) = 0,03$ ;  $P^*(\text{B}_2\text{O}_3) = 0,045$ . Сума масових часток усіх компонентів дорівнює 1.

*Приклад 3.* Перерахунок хімічного складу матеріалу у мольні числа.

Виходячи з хімічного складу матеріалу, вираженого у масових відсотках, з використанням формули (4) і даних табл. 1.1 переходимо до мольних чисел компонентів:

$$n(\text{SiO}_2) = 54,71 / 60,1 = 0,91$$

$$n(\text{Al}_2\text{O}_3) = 11,47 / 102 = 0,112$$

$$n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,49 / 159,7 = 0,003$$

$$n(\text{PbO}) = 16,67 / 223,2 = 0,075$$

$$n(\text{CaO}) = 5,88 / 56,1 = 0,105$$

$$n(\text{K}_2\text{O}) = 3,14 / 94,2 = 0,033$$

$$n(\text{Na}_2\text{O}) = 3,24 / 62 = 0,052$$

$$n(\text{B}_2\text{O}_3) = 4,4 / 69,7 = 0,063$$

Сума мольних чисел оксидів у такому складі становить 1,353.

*Приклад 4.* Перерахунок хімічного складу матеріалу у мольні частки.

Відповідно до формули (5), мольні частки компонентів знаходять таким чином

$$n^*(\text{SiO}_2) = 0,91 / 1,353 = 0,673$$

$$n^*(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,112 / 1,353 = 0,083$$

$$n^*(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,003 / 1,353 = 0,002$$

$$n^*(\text{PbO}) = 0,075 / 1,353 = 0,055$$

$$n^*(\text{CaO}) = 0,105 / 1,353 = 0,078$$

$$n^*(\text{K}_2\text{O}) = 0,033 / 1,353 = 0,024$$

$$n^*(\text{Na}_2\text{O}) = 0,052 / 1,353 = 0,038$$

$$n^*(\text{B}_2\text{O}_3) = 0,063 / 1,353 = 0,047$$

Сума мольних чисел компонентів дорівнює 1.

*Приклад 5.* Перерахунок хімічного складу матеріалу у молярні відсотки.

Для подання складу поливи у молярних відсотках можна використати формулу (6) або ж просто помножити мольні частки компонентів на 100. Тоді склад поливи у молярних відсотках становитиме:  $N(\text{SiO}_2) = 67,3$ ;  $N(\text{Al}_2\text{O}_3) = 8,3$ ;  $N(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,2$ ;  $N(\text{PbO}) = 5,5$ ;  $N(\text{CaO}) = 7,8$ ;  $N(\text{K}_2\text{O}) = 2,4$ ;  $N(\text{Na}_2\text{O}) = 3,8$ ;  $N(\text{B}_2\text{O}_3) = 4,7$ . Сума молярних відсотків усіх компонентів дорівнює 100.

*Приклад 6.* Перерахунок хімічного складу матеріалу з молярних відсотків у масові.

Склад матеріалу, виражений у молярних відсотках, наведений у прикладі 5. Відповідно до формули (7) для кожного компонента цього складу спочатку знаходимо добуток  $N_i \cdot M_i$ , а потім суму добутоків  $\sum N_i \cdot M_i$

$$\text{SiO}_2 = 67,3 \cdot 60,1 = 4044,73$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 8,3 \cdot 102 = 846,6$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,2 \cdot 159,7 = 31,94$$

$$\text{PbO} = 5,5 \cdot 223,2 = 1227,6$$

$$\text{CaO} = 7,8 \cdot 56,1 = 437,58$$

$$\text{K}_2\text{O} = 2,4 \cdot 94,2 = 226,08$$

$$\text{Na}_2\text{O} = 3,8 \cdot 62 = 235,6$$

$$\text{B}_2\text{O}_3 = 4,7 \cdot 69,7 = 327,59$$

Сума добутків  $N_i \cdot M_i$  дорівнює 7377,72 мас.ч.

Далі за формулою (7) визначаємо вміст оксидів (результат округляємо до другого знака після коми), мас. %

$$P(\text{SiO}_2) = 4044,73 \cdot 100 / 7377,72 = 54,82$$

$$P(\text{Al}_2\text{O}_3) = 846,6 \cdot 100 / 7377,72 = 11,48$$

$$P(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 31,94 \cdot 100 / 7377,72 = 0,44$$

$$P(\text{PbO}) = 1227,6 \cdot 100 / 7377,72 = 16,65$$

$$P(\text{CaO}) = 437,58 \cdot 100 / 7377,72 = 5,90$$

$$P(\text{K}_2\text{O}) = 226,08 \cdot 100 / 7377,72 = 3,08$$

$$P(\text{Na}_2\text{O}) = 235,6 \cdot 100 / 7377,72 = 3,19$$

$$P(\text{B}_2\text{O}_3) = 327,59 \cdot 100 / 7377,72 = 4,44$$

Сума масових відсотків компонентів дорівнює 100. Деяка відмінність наведених значень масових відсотків від тих, що представлені у прикладі 1, пояснюється похибкою, яка завжди можлива при арифметичних обчисленнях.

*Приклад 7.* Перерахунок хімічного складу матеріалу з масових відсотків у молярні.

Склад матеріалу, виражений у масових відсотках, наведений у прикладі 6. Відповідно до формули (8) для кожного компонента цього складу спочатку знаходимо частки  $P_i / M_i$  (ці частки становлять мольні числа компонентів), а потім їх суму  $\sum P_i / M_i$

$$\text{SiO}_2 = 54,82 / 60,1 = 0,912$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 11,48 / 102 = 0,113$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,44 / 159,7 = 0,003$$

$$\text{PbO} = 16,65 / 223,2 = 0,075$$

$$\text{CaO} = 5,9 / 56,1 = 0,105$$

$$\text{K}_2\text{O} = 3,08 / 94,2 = 0,033$$

$$\text{Na}_2\text{O} = 3,19 / 62 = 0,051$$

$$\text{B}_2\text{O}_3 = 4,44 / 69,7 = 0,064$$

Сума знайдених часток  $\sum P_i / M_i$  дорівнює 1,356 .

Далі за формулою (8) визначаємо вміст оксидів (з точністю до другого знака після коми), мол. %

$$N(\text{SiO}_2) = 0,912 \cdot 100 / 1,356 = 67,3$$

$$N(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,113 \cdot 100 / 1,356 = 8,32$$

$$N(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,003 \cdot 100 / 1,356 = 0,21$$

$$N(\text{PbO}) = 0,075 \cdot 100 / 1,356 = 5,53$$

$$N(\text{CaO}) = 0,105 \cdot 100 / 1,356 = 7,73$$

$$N(\text{K}_2\text{O}) = 0,033 \cdot 100 / 1,356 = 2,43$$

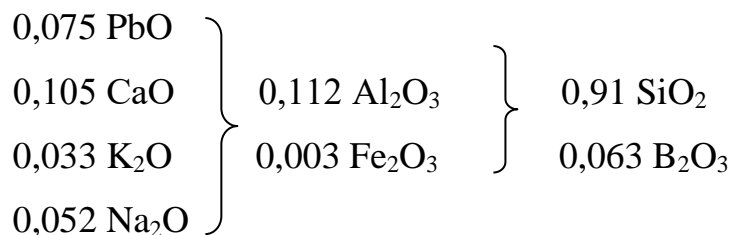
$$N(\text{Na}_2\text{O}) = 0,051 \cdot 100 / 1,356 = 3,76$$

$$N(\text{B}_2\text{O}_3) = 0,064 \cdot 100 / 1,356 = 4,72$$

Сума молярних відсотків компонентів становить 100.

*Приклад 8.* Подання хімічного складу матеріалу у вигляді молекулярної формули Зегера.

Для подання складу матеріалу у вигляді формули Зегера скористаємося розрахованими вище мольними числами оксидів (приклад 3):  $\text{SiO}_2$  – 0,91;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,112;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,003;  $\text{PbO}$  – 0,075;  $\text{CaO}$  – 0,105;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,033;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,052;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 0,063. З отриманих мольних чисел виводимо попередню формулу



Сума мольних чисел оксидів у першій дужці становить  $\Sigma = 0,265$ .

Тепер число молів кожного оксиду треба поділити на суму мольних чисел (RO + R<sub>2</sub>O), яка дорівнює 0,265 (округлення виконати до другого знака після коми):

$$\text{SiO}_2 = 0,91 / 0,265 = 3,43$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,112 / 0,265 = 0,42$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,003 / 0,265 = 0,01$$

$$\text{PbO} = 0,075 / 0,265 = 0,28$$

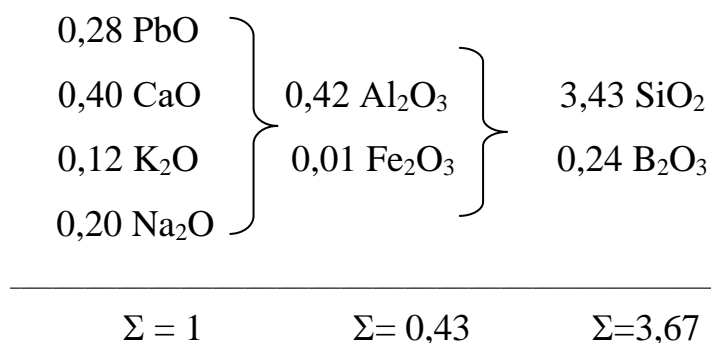
$$\text{CaO} = 0,105 / 0,265 = 0,4$$

$$\text{K}_2\text{O} = 0,033 / 0,265 = 0,12$$

$$\text{Na}_2\text{O} = 0,052 / 0,265 = 0,2$$

$$\text{B}_2\text{O}_3 = 0,063 / 0,265 = 0,24$$

Отже, склад цього матеріалу за молекулярною формулою Зегера такий:



Або запишемо інакше: 1 (RO + R<sub>2</sub>O) · 0,43 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) · 3,67 (SiO<sub>2</sub> + B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

*Приклад 9.* Перерахунок хімічного складу матеріалу з молекулярної формули у масові відсотки.

Для розв'язання цієї задачі необхідно спочатку перейти до масових часток оксидів, що містяться у матеріалі. Для цього треба помножити коефіцієнти при оксидах у формулі Зегера на їхню молекулярну масу. Склад у мас. ч.:

$$\text{SiO}_2 = 3,43 \cdot 60,1 = 206,14$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,42 \cdot 102,0 = 42,84$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,01 \cdot 159,7 = 1,597$$

$$\text{PbO} = 0,28 \cdot 223,2 = 62,5$$

$$\text{CaO} = 0,4 \cdot 56,1 = 22,44$$

$$\text{K}_2\text{O} = 0,12 \cdot 94,2 = 11,3$$

$$\text{Na}_2\text{O} = 0,2 \cdot 62,0 = 12,4$$

$$\text{B}_2\text{O}_3 = 0,24 \cdot 69,7 = 16,73$$

Сума отриманих масових часток становить 375,95. Тепер визначаємо кількість оксидів у складі матеріалу у масових відсотках аналогічно до розрахунку, за яким приводять склад матеріалу до 100 %. Склад матеріалу в мас. ч.:

$$\text{SiO}_2 = 206,14 \cdot 100 / 375,95 = 54,8$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 42,84 \cdot 100 / 375,95 = 11,4$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,597 \cdot 100 / 375,95 = 0,4$$

$$\text{PbO} = 62,5 \cdot 100 / 375,95 = 16,6$$

$$\text{CaO} = 22,44 \cdot 100 / 375,95 = 6,0$$

$$\text{K}_2\text{O} = 11,3 \cdot 100 / 375,95 = 3,0$$

$$\text{Na}_2\text{O} = 12,4 \cdot 100 / 375,95 = 3,3$$

$$\text{B}_2\text{O}_3 = 16,73 \cdot 100 / 375,95 = 4,5$$

Сума масових відсотків компонентів становить 100 %. Результати можуть відхилитися від початкового складу на 0,1 ÷ 0,2 мас. % за рахунок похибки обчислень.

### Задачі для практики

1. Наведіть хімічний склад поливи для майолікових виробів у молярних одиницях, виходячи із хімічного складу, наданого у масових відсотках:  $\text{SiO}_2$  – 48;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8;  $\text{CaO}$  – 7;  $\text{MgO}$  – 5;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 15;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 17,5.

2. Наведіть хімічний склад безлужної поливи у масових частках, виходячи із хімічного складу, наданого у молярних відсотках:  $\text{SiO}_2$  – 55;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8;  $\text{CaO}$  – 5;  $\text{ZnO}$  – 5;  $\text{BaO}$  – 10;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 17.

3. Порівняйте, у якому зі складів стекол, наведених нижче, оксид натрію міститься у більшій кількості:

а)  $\text{SiO}_2$  – 72;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2;  $\text{MgO}$  – 3;  $\text{CaO}$  – 10;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 13 (мас. %);

б)  $\text{SiO}_2$  – 71;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,5;  $\text{MgO}$  – 3,5;  $\text{CaO}$  – 10;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 14 (мол. %).

4. Наведіть хімічний склад поливи (мас. %) у вигляді молекулярної формули Зегера:  $\text{SiO}_2$  – 57;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 7;  $\text{Li}_2\text{O}$  – 3,5;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 7;  $\text{ZrO}_2$  – 8,0;  $\text{CaO}$  – 10,5;  $\text{ZnO}$  – 7.

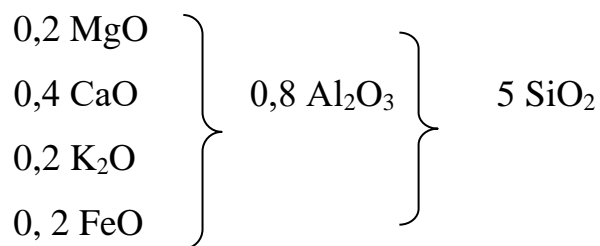
5. Виходячи з того, що максимально допустимий вміст  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  для плюмбійового кришталю має становити  $\leq 0,014$  мас. %, визначте, чи відповідає цим вимогам такий хімічний склад кришталю (мол. %):  $\text{SiO}_2$  – 77;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,3;  $\text{CaO}$  – 1,4;  $\text{ZnO}$  – 0,9;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,0002;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 1,05;  $\text{K}_2\text{O}$  – 13,2;  $\text{PbO}$  – 6.

6. Переведіть хімічний склад ґрунтової емалі з масових відсотків у мольні числа, мольні частки, молекулярні відсотки, масові частки. Склад емалі (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 42;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2,5;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 18;  $\text{K}_2\text{O}$  – 3;  $\text{CaO}$  – 4,5;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 26;  $\text{TiO}_2$  – 3;  $\text{Co}_2\text{O}_3$  – 0,5;  $\text{NiO}$  – 0,5.

7. Склад каоліну за даними хімічного аналізу становить (мас. ч.):  $\text{SiO}_2$  – 48,7;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 38,3;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,5;  $\text{TiO}_2$  – 0,6;  $\text{CaO}$  – 0,75;  $\text{MgO}$  – 0,7;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,12;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,1, в.п.п. – 10. Наведіть хімічний склад каоліну у масових відсотках.

8. Наведіть хімічний склад поливи по кераміці у масових одиницях, виходячи з хімічного складу, наданого у мольних частках:  $\text{SiO}_2$  – 0,55;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,08;  $\text{CaO}$  – 0,05;  $\text{ZnO}$  – 0,05;  $\text{BaO}$  – 0,1;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – 0,17.

9. Який масовий відсоток  $\text{SiO}_2$  міститься у складі поливи, призначеної для кам'яно-керамічних виробів:



10. На підставі аналізу молекулярних формул двох керамічних матеріалів порівняйте їх між собою за критерієм тугоплавкості. Хімічний склад (мас. %):

а)  $\text{SiO}_2$  – 69;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 24,1;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 3,5;  $\text{MgO}$  – 0,5;  $\text{CaO}$  – 0,2;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,2;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,5;

б)  $\text{SiO}_2$  – 74;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 21;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2,5;  $\text{MgO}$  – 0,6;  $\text{CaO}$  – 0,12;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,9;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,8.

### **Контрольні запитання**

1. Охарактеризувати способи вираження вмісту компонентів у масових та молярних відсотках.
2. Навести алгоритм перерахунку хімічного складу матеріалів.
3. Визначити основні принципи складання формули Зегера.

### **Самостійна робота**

Розрахувати хімічний склад матеріалів, виражений у масових та молярних одиницях за прикладом.

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5 ПОДАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ МАТЕРІАЛІВ НА СУХУ І ВОЛОГУ РЕЧОВИНУ**

### **План**

- 5.1 Перерахунок хімічного складу матеріалів на суху речовину.
- 5.2 Приклад розрахунку.

#### **5.1 Перерахунок хімічного складу матеріалів на суху речовину**

Для технологічних розрахунків необхідно знати хімічний склад матеріалу на суху речовину. Однак у складі матеріалів, визначеному шляхом хімічного



аналізу, у більшості випадків є вільна волога, і такий склад характеризує вологу речовину. Для перерахунку хімічного складу матеріалів на суху речовину існують такі шляхи:

1) у випадку, якщо хімічний склад матеріалу, який необхідно перерахувати на суху речовину, приведено до 100 %, використовують формулу

$$P_{i\text{сух}} = \frac{P_{i\text{вол}}}{(100 - W)} \cdot 100 \% ; \quad (10)$$

2) якщо заданий для перерахунку склад матеріалу не приведено до 100 %, слід використовувати формулу

$$P_{i\text{сух}} = \frac{P_{i\text{вол}} \cdot 100^2}{(100 - W) \cdot \sum P_{i\text{вол}}} \cdot 100 \% , \quad (11)$$

де  $P_{i\text{сух}}$  – вміст окремих компонентів (оксидів) матеріалу на суху речовину, мас. %;

$P_{i\text{вол}}$  – вміст компонентів у вологому матеріалі, мас. %;

$W$  – вміст води, мас. %;

$\sum P_{i\text{вол}}$  – сумарний вміст компонентів за даними хімічного аналізу, мас. %.

У багатьох технологічних розрахунках необхідно здійснювати перерахунок складу сухого матеріалу на вологу речовину з урахуванням конкретної вологості матеріалу. При цьому можуть бути два випадки:

1) якщо склад, який необхідно перерахувати на вологу речовину, приведено до 100 %, використовується формула

$$P_{i\text{вол}} = \frac{P_{i\text{сух}}}{(100 - W)} \cdot 100 \% ; \quad (12)$$

2) якщо заданий для перерахунку склад сухого матеріалу не приведено до 100 %, а подано даними, отриманими шляхом хімічного аналізу, розрахунок ведеться за формулою

$$P_{i\text{вол}} = \frac{P_{i\text{сух}} \cdot 100^2}{(100 + W) \cdot \sum P_{i\text{сух}}} \cdot 100 \% .$$

Позначення ті самі, що й у формулі (11).

## Приклади розрахунку

*Приклад 1.* Перерахунок хімічного складу вологого доломіту на суху речовину.

Склад доломіту на вологу речовину становить (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 1,0;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,05;  $\text{MgO}$  – 23;  $\text{CaO}$  – 25,6; в.п.п. – 48,3;  $\text{H}_2\text{O}$  – 8. Перерахувати хімічний склад доломіту на суху речовину.

Виходячи з того що  $\Sigma Pi_{\text{сух}} = 105,95$ , подальші розрахунки проводимо за формулою (11)

$$P(\text{SiO}_2) = 100^2 \cdot 1 / (100 - 8) \cdot 105,95 = 1,0$$

$$P(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 100^2 \cdot 0,05 / (100 - 8) \cdot 105,95 = 0,05$$

$$P(\text{MgO}) = 100^2 \cdot 23 / (100 - 8) \cdot 105,95 = 23,6$$

$$P(\text{CaO}) = 100^2 \cdot 25,6 / (100 - 8) \cdot 105,95 = 26,2$$

$$P(\text{в.п.п.}) = 100^2 \cdot 48,3 / (100 - 8) \cdot 105,95 = 49,5$$

Таким чином, склад доломіту на суху речовину становитиме, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 1,0;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,05;  $\text{MgO}$  – 23,6;  $\text{CaO}$  – 26,2; в.п.п. – 49,5.

*Приклад 2.* Перерахунок хімічного складу сухого каоліну на вологу речовину.

Склад Полозького каоліну на суху речовину становить (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 43,91;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,48;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 39,16;  $\text{MgO}$  – 0,61;  $\text{CaO}$  – 1,59; в.п.п. – 14,25. Подати склад каоліну на вологу речовину з урахуванням його вологості 1,5 %.

Виходячи з того, що  $\Sigma Pi_{\text{вол}} = 100$  %, подальші розрахунки проводимо за формулою (12)

$$P_{\text{вол}}(\text{SiO}_2) = 100 \cdot 43,91 / (100 + 1,5) = 43,26$$

$$P_{\text{вол}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 100 \cdot 0,48 / (100 + 1,5) = 0,47$$

$$P_{\text{вол}}(\text{Al}_2\text{O}_3) = 100 \cdot 39,16 / (100 + 1,5) = 38,57$$

$$P_{\text{вол}}(\text{MgO}) = 100 \cdot 0,61 / (100 + 1,5) = 0,6$$

$$P_{\text{вол}}(\text{CaO}) = 100 \cdot 1,59 / (100 + 1,5) = 1,57$$

$$P_{\text{вол}}(\text{в.п.п.}) = 100 \cdot 14,25 / (100 + 1,5) = 14,03$$

Враховуючи вологість каоліну 1,5 %, його склад на вологу речовину (мас. %) становитиме:  $\text{SiO}_2$  – 43,26;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,47;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 38,57;  $\text{MgO}$  – 0,6;  $\text{CaO}$  – 1,57; в.п.п. – 14,03,  $\text{H}_2\text{O}$  – 1,5.

### Задачі для практики

1. За даними хімічного аналізу склад крейди Кременецького родовища Тернопільської області становить (мас. %) :  $\text{SiO}_2$  – 1,19;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,09;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,22;  $\text{MgO}$  – 0,56;  $\text{CaO}$  – 54,2; в.п.п. – 43,53;  $\text{H}_2\text{O}$  – 8,24. Порівняйте вміст  $\text{CaO}$  у Кременецькій крейді та у крейді м. Трускавіца (Польща), яка має такий хімічний склад (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 0,7;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,05;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,17;  $\text{CaO}$  – 54,5; в.п.п. – 44,58.

2. Хімічний склад сухої глини становить, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 69,84;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 20,7;  $\text{TiO}_2$  – 0,06;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,07;  $\text{MgO}$  – 0,36;  $\text{CaO}$  – 0,97; в.п.п. – 8. Перерахувати склад глини на вологу речовину з урахуванням її природної вологості 11 %.

3. Заданий хімічний склад глинистої сировини (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 42;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 38;  $\text{TiO}_2$  – 0,06;  $\text{MgO}$  – 0,5;  $\text{CaO}$  – 3,5; в.п.п. – 14,44. Визначте, скільки вологої сировини з вологістю 5 % потрібно взяти для того, щоби вона внесла у матеріал 30 %  $\text{SiO}_2$ ? Скільки сухої глини буде необхідно для цього?

4. Скільки оксиду кремнію буде міститися у сухому каоліні такого хімічного складу (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 47;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 38;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,5;  $\text{TiO}_2$  – 0,5;  $\text{CaO}$  – 0,5;  $\text{H}_2\text{O}$  – 4 %; в.п.п. – 10?

5. Визначте кількість сухого каоліну, яка буде необхідна для введення у матеріал 25 % оксиду алюмінію. Хімічний склад каоліну (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 49;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 38,5;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 3,5;  $\text{CaO}$  – 0,5;  $\text{H}_2\text{O}$  – 5,5 %; в.п.п. – 9,5.

6. Хімічний склад піску Бабінецького родовища Київської області містить за масою:  $\text{SiO}_2$  – 97,81 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,3 %;  $\text{TiO}_2$  – 0,05 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,17 %;  $\text{CaO}$  – 0,2 %; в.п.п. – 1,5 %;  $\text{H}_2\text{O}$  – 9 %. Зробіть висновок, чи придатний цей пісок для виробництва сортового посуду, враховуючи наявні норми вмісту забарвлювальних оксидів у кварцових пісках для цього типу скла?

7. У якому з наведених нижче сировинних матеріалів – каоліні чи глині – міститься більше оксиду заліза? Хімічний склад Глуховецького каоліну (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 48,7;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 36,3;  $\text{TiO}_2$  – 0,6;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,12;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,1;  $\text{CaO}$  – 0,75;  $\text{MgO}$  – 0,06; в.п.п. – 10. Хімічний склад піскуватої глини (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 75,49;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,9;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 12,7.

### **Контрольні запитання**

1. Які існують шляхи для перерахунку хімічного складу матеріалів на суху речовину?
2. Які існують два випадки у технологічних розрахунках, які використовують при перерахунку складу сухого матеріалу на вологу речовину з урахуванням конкретної вологості матеріалу?

### **Самостійна робота**

Навести хімічний склад матеріалів сухої і вологої речовини за прикладом.

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6 БЕЗУГАРНИЙ СКЛАД МАТЕРІАЛІВ**

### **План**

- 6.1 Технологічні розрахунки з використанням безугарного складу.
- 6.2 Приклади розрахунків.

### **6.1 Технологічні розрахунки з використанням безугарного складу**

У багатьох випадках зручніше здійснювати технологічні розрахунки, використовуючи так званий безугарний склад матеріалів (або склад матеріалів на прожарену речовину), тобто такий склад, у якому містяться тільки основні компоненти і відсутня фізико-механічна та фізико-хімічна волога, хімічно

зв'язана вода глинистих мінералів, леткі сполуки, органічні домішки. Фізико-механічна та фізико-хімічна волога видаляються на стадіях природного та штучного сушіння матеріалу (сировини, шихти, напівфабрикатів) приблизно до 200 °С, а при термічній обробці матеріалу ( $t \geq 500$  °С) з нього видаляються леткі сполуки, які утворюються при розкладанні карбонатів ( $\text{CO}_2$ ), сульфатів ( $\text{SO}_3$ ), вигорянні органічних речовин та сірки. Під час високотемпературної обробки матеріалів, що містять глинисті компоненти, з них видаляється також і хімічно зв'язана волога – конституційна вода глинистих мінералів. Усі перелічені компоненти угару кількісно характеризуються таким показником хімічного складу, як втрати при прожарюванні (в.п.п.), що визначаються експериментально при проведенні хімічного аналізу матеріалу.

Безугарний склад матеріалів необхідний при визначенні кількості прожареної сировини у шихті, яка розраховується за хімічним складом готового матеріалу, при розрахунках виходу готового матеріалу після термічної обробки напівфабрикатів і в багатьох інших випадках.

При перерахунку складу матеріалу на прожарену речовину втрати при прожарюванні з нього виключаються. При таких розрахунках можливі два варіанти:

1) якщо заданий для перерахунку хімічний склад приведено до стовідсоткового, слід скористатися формулою

$$P_{i\text{прож}} = \frac{P_{i\text{сух}}}{(100 - \text{в.п.п.})} \cdot 100 \% ; \quad (14)$$

2) якщо заданий склад не приведено до стовідсоткового, то для розрахунку безугарного складу матеріалу необхідно використовувати формулу

$$P_{i\text{прож}} = \frac{P_{i\text{сух}}}{(P_{i\text{сух}} - \text{в.п.п.})} \cdot 100 \% , \quad (15)$$

де  $P_{i\text{прож}}$  – вміст  $i$ -го компонента у сировинному матеріалі в перерахунку на безугарний склад, мас. %;

$P_{i\text{сух}}$  – вміст  $i$ -го компонента у вихідному складі сухого сировинного матеріалу, мас. %;

$\Sigma P_{i\text{сух}}$  – сумарний вміст усіх компонентів у сухому матеріалі з даними хімічного аналізу, мас. %;

в.п.п. – втрати при прожарюванні матеріалу, які характеризують сумарний вміст компонентів угару, що видаляються при високотемпературній термообробці матеріалу, мас. %.

Якщо на прожарену речовину необхідно перерахувати склад вологого матеріалу, то вологу і втрати при прожарюванні, які містяться в матеріалі, можна обчислити разом. Тоді у формулах (9) і (10) замість значення в.п.п. треба використовувати суму вологи і втрат при прожарюванні.

Іноді виникає необхідність і у зворотному розрахунку, коли необхідно визначити склад сухого матеріалу, виходячи з його безугарного складу. У такому випадку використовується така формула (за умови, що склад матеріалу приведений до 100 %):

$$P_{i\text{сух}} = \frac{P_{i\text{прож}} \cdot (100 - \text{в.п.п.})}{100} \quad (16)$$

При розрахунках виходу готового керамічного матеріалу після термічної обробки напівфабрикатів необхідно мати дані про втрати при прожарюванні керамічної маси. Якщо втрати при прожарюванні керамічної маси невідомі, то їх можна розрахувати, виходячи з її шихтового складу та втрат при прожарюванні сировини, що використовується в масі. Зазвичай при розрахунках виходу матеріалу мають на увазі суху керамічну масу, але якщо потрібно визначити вихід продукту з вологої технологічної суміші, то тоді необхідно ще враховувати і її вологість.

### Приклади розрахунків

*Приклад 1.* Перерахунок хімічного складу сухого матеріалу на безугарний склад.

Хімічний склад шлаку (на суху речовину) за даними хімічного аналізу становить, мас. %:  $\text{SiO}_2 - 46,86$ ;  $(\text{R}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) - 26,2$ ;  $\text{MgO} - 0,59$ ;

CaO – 19,4; SO<sub>3</sub> – 1,37; MnO – 3,95, в.п.п. – 0,95. Визначити безугарний склад шлаку.

Оскільки  $\Sigma P_{i_{\text{сух}}} = 99,32$ , скористаємось для розрахунку формулою (14).

$$P(\text{SiO}_2) = 46,86 \cdot 100 / (99,32 - 0,95) = 47,63$$

$$P(\text{R}_2\text{O}_3) = 26,2 \cdot 100 / (99,32 - 0,95) = 26,63$$

$$P(\text{MgO}) = 0,59 \cdot 100 / (99,32 - 0,95) = 0,61$$

$$P(\text{CaO}) = 19,4 \cdot 100 / (99,32 - 0,95) = 19,73$$

$$P(\text{SO}_3) = 1,37 \cdot 100 / (99,32 - 0,95) = 1,39$$

$$\underline{P(\text{MnO}) = 3,95 \cdot 100 / (99,32 - 0,95) = 4,01}$$

$$\Sigma P_{i_{\text{прож}}} = 100 \%$$

*Приклад 2.* Перерахунок безугарного складу матеріалу на суху речовину.

Хімічний склад шамоту, виготовленого з Часів-Ярської глини, такий, мас. %: SiO<sub>2</sub> – 57,2; TiO<sub>2</sub> – 1,4; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 35,61; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,2; CaO – 0,6; MgO – 0,62; K<sub>2</sub>O – 2,59; Na<sub>2</sub>O – 0,78. Яким буде хімічний склад сухої глини, якщо її втрати при прожарюванні становлять 8,5 %?

Для розрахунків скористаймося формулою (15).

$$P_{\text{сух}}(\text{SiO}_2) = 57,2 \cdot (100 - 8,5) / 100 = 52,34$$

$$P_{\text{сух}}(\text{TiO}_2) = 1,4 \cdot (100 - 8,5) / 100 = 1,28$$

$$P_{\text{сух}}(\text{Al}_2\text{O}_3) = 35,61 \cdot (100 - 8,5) / 100 = 32,58$$

$$P_{\text{сух}}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 1,2 \cdot (100 - 8,5) / 100 = 1,1$$

$$P_{\text{сух}}(\text{CaO}) = 0,6 \cdot (100 - 8,5) / 100 = 0,55$$

$$P_{\text{сух}}(\text{MgO}) = 0,62 \cdot (100 - 8,5) / 100 = 0,57$$

$$P_{\text{сух}}(\text{K}_2\text{O}) = 2,59 \cdot (100 - 8,5) / 100 = 2,37$$

$$P_{\text{сух}}(\text{Na}_2\text{O}) = 0,78 \cdot (100 - 8,5) / 100 = 0,71$$

До розрахованої вище кількості оксидів слід додати в.п.п. глини (8,5 %), і тоді хімічний склад сухої глини  $\Sigma P_{i_{\text{сух}}}$  дорівнюватиме 100 %.

*Приклад 3.* Розрахування виходу готового матеріалу.

1. Визначте, яким буде вихід готового матеріалу із 100 кг сухої маси, якщо її втрати при прожарюванні становлять 9 %?

При розрахунках розмірковуємо так: 9 % від 100 кг становлять 9 кг за масою, а отже, це та кількість компонентів маси, що видалиться при її термічній обробці. Тоді вихід готового продукту становитиме:

$$100 \text{ кг сухої маси} - 9 \text{ кг втрат при прожарюванні} = 91 \text{ кг матеріалу.}$$

2. Визначте, яким буде вихід готового матеріалу із 200 кг сухої маси, якщо її шихтовий склад становить: глина – 45 % (в.п.п. – 10 %), каолін – 35 % (в.п.п. – 8 %), шамот – 20 % (в.п.п. – 0 %).

Спочатку визначаємо масу кожного сировинного матеріалу в шихті:

$$\text{глини} \quad 200 \cdot 0,45 = 90 \text{ кг;}$$

$$\text{каоліну} \quad 200 \cdot 0,35 = 70 \text{ кг;}$$

$$\text{шамоту} \quad 200 \cdot 0,2 = 40 \text{ кг.}$$

Після цього визначаємо втрати при прожарюванні керамічної маси, які складаються із втрат при прожарюванні кожної сировини пропорційно до її кількості в шихті. У цьому випадку сировина надасть керамічній масі таких втрат при прожарюванні:

$$\text{глини} \quad 90 \cdot 0,1 = 9 \text{ кг;}$$

$$\text{каоліну} \quad 70 \cdot 0,8 = 5,6 \text{ кг;}$$

$$\text{разом} \quad 14,6 \text{ кг.}$$

Шамот не надає масі ніякого угару, оскільки не має власних втрат при прожарюванні.

Таким чином, вихід готового матеріалу з 200 кг маси становитиме:

$$200 \text{ кг сухої маси} - 14,6 \text{ кг в.п.п.} = 185,4 \text{ кг матеріалу.}$$



3. Визначте, яким буде вихід готового матеріалу із 200 кг пластичної маси з вологістю 18 %, якщо її шихтовий склад становить: глина – 45 % (в.п.п. – 10 %), каолін – 35 % (в.п.п. – 8 %), шамот – 20 % (в.п.п. – 0 %).

У цьому випадку вихід матеріалу буде становити різницю між вагою усєї маси, вологою, що в ній міститься, та втратами при прожарюванні маси. Спочатку визначаємо кількість води у 200 кг пластичної маси з вологістю 18 %:

$$200 \cdot 0,18 = 36 \text{ кг.}$$

Отже, кількість сухої речовини становить:

$$200 - 36 = 164 \text{ кг.}$$

Далі розраховуємо масу кожного сировинного матеріалу в 164 кг сухої частини:

$$\text{глини} \quad 164 \cdot 0,45 = 73,8 \text{ кг;}$$

$$\text{каоліну} \quad 164 \cdot 0,35 = 57,4 \text{ кг;}$$

$$\text{шамоту} \quad 164 \cdot 0,2 = 32,8 \text{ кг.}$$

Після цього визначаємо втрати при прожарюванні керамічної маси, які розраховуються аналогічно тому, що наведено вище (див. приклад 3). У цьому випадку сировина надасть керамічній масі таких втрат при прожарюванні:

$$\text{глина} \quad 73,8 \cdot 0,1 = 7,38 \text{ кг}$$

$$\text{каолін} \quad \underline{57,4 \cdot 0,08 = 4,6 \text{ кг}}$$

$$\text{разом} \quad 11,98 \text{ кг.}$$

Шамот, як було зазначено вище, не надає масі ніяких втрат при прожарюванні.

Вихід готового матеріалу з 200 кг пластичної маси з вологістю 18 % розраховується як різниця ваги пластичної маси, її води та втрат при прожарюванні. Таким чином вихід готового матеріалу становитиме:

$$200 - 36 - 11,98 = 152,02 \text{ кг.}$$

## Задачі для практики

1. Скільки оксиду алюмінію міститься у прожареній глині такого хімічного складу (%):  $\text{SiO}_2$  – 46;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 35;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,5;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,5;  $\text{TiO}_2$  – 0,5;  $\text{CaO}$  – 1,5; в.п.п. – 7?

2. Скільки шамоту потрібно взяти, щоб за рахунок нього у матеріал увійшло 37 % оксиду кремнію? Хімічний склад глини для шамоту (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 52;  $\text{TiO}_2$  – 1,3;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 33;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,0;  $\text{CaO}$  – 0,5;  $\text{MgO}$  – 0,6;  $\text{K}_2\text{O}$  – 2,2;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,5, в.п.п. – 8,7 %.

3. Скільки оксиду кремнію (на прожарену речовину) міститься в каоліні такого хімічного складу (%):  $\text{SiO}_2$  – 47;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 38;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,5;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,5;  $\text{TiO}_2$  – 0,5;  $\text{CaO}$  – 0,5;  $\text{H}_2\text{O}$  – 5; в.п.п. – 7.

4. Скільки готового керамічного матеріалу (за масою) можна отримати із 365 кг сухої маси (втрати при прожарюванні маси – 5,6 %)?

5. Визначте втрати при прожарюванні керамічної маси, виходячи з її шихтового складу і втрат на угар сировини: глина «Технік-1» – 65 % (в.п.п. – 9,5 %), пегматит – 20 % (в.п.п. – 1,2 %), крейда – 15 % (в.п.п. – 45,5 %).

6. Обчисліть кількість керамічного матеріалу (кг), яку можна отримати із 1000 кг пластичної маси з вологістю 22 %, якщо її шихтовий склад становить: глина зелена – 65 % (в.п.п. – 8 %), глина «ДБК-2» – 15 % (в.п.п. – 5 %), аргіліт – 15 % (в.п.п. – 11 %), бій випалених виробів – 5 % (в.п.п. – 0 %).

7. Скільки хімічно зв'язаної вологи видалиться при прожарюванні 150 г сухого каоліну, якщо припустити, що він складається тільки з каолініту?

8. У якому із наведених нижче сировинних матеріалів – каоліні чи глині – міститься більше оксиду заліза? Хімічний склад каоліну (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 48,7;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,9;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 36,3;  $\text{TiO}_2$  – 0,6;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,12;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,1;  $\text{CaO}$  – 0,75;  $\text{MgO}$  – 0,06; в.п.п. – 10. Хімічний склад глини (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 77,49;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,0;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 17,7;  $\text{MgO}$  – 0,49;  $\text{CaO}$  – 1,57.

9. Визначте кількість конституційної води, що її буде видалено при прожарюванні 500 г порошку тальку ( $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ ), якщо вологість порошку становить 12 %.

10. Скільки глинозему міститься в сухій глині, якщо відомий її безугарний склад (%):  $\text{SiO}_2$  – 76;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 15;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,5;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,5;  $\text{TiO}_2$  – 0,5;  $\text{CaO}$  – 6,5? Втрати при прожарюванні глини становлять 10,8 %.

11. Розрахунковим шляхом визначте, скільки метакаолініту ( $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ ) може утворитися при прожарюванні 320 г сухого каолініту ( $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

### **Контрольні запитання**

1. Для чого в розрахунках використовують безугарний склад матеріалів?

2. Проаналізувати випадки розрахунків, коли при перерахунку складу матеріалу на прожарену речовину втрати при прожарюванні з нього виключаються.

### **Самостійна робота**

Провести технологічні розрахунки з використанням безугарного складу за прикладом.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів у прикладах і задачах : навч. посіб. : у 2 ч. / [Л. Л. Брагіна, А. М. Корогодська, О. Я. Пітак та ін.] ; за ред. М. І. Рищенка. – Харків : НТУ «ХП», 2010. – Ч. 1 Технологічні розрахунки в хімічних технологіях тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів. – 355 с.
2. Племянніков М. М. Фізична хімія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів : підруч. для студ. спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія, спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів» / М. М. Племянніков, Н. В. Жданюк. – Київ : Освіта України, 2022. – 152 с.
3. Суббота І. С. Теоретичні основи технології кераміки та скла. Керамічні маси в технології виробництва : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; [уклад. : І. С. Суббота, Л. М. Спасьонова]. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 86 с.
4. Ситали : структура, властивості, технологія та застосування : навч. посіб. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ун-т» ; [уклад. : О. В. Саввова, Л. Л. Брагіна, О. В. Бабіч та ін.]. – Харків : НТУ «ХП», 2018. – 264 с.
5. Суббота І. С. Інноваційні технології кераміки [Електрон. ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : І. С. Суббота, Л. М. Спасьонова. – Електрон. текст. дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 65 с. – Режим доступу : <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42133/1/Keramika.pdf>, вільний доступ (дата звернення: 13.10.2023). – Назва з екрана.
6. Фізична хімія кремнезему і нанодисперсних силікатів : навч. посіб. / [Б. Ю. Корнілович, О. Р. Андрієвська, М. М. Племянніков, Л. М. Спасьонова] ; за ред. чл.-кор. НАН України Б. Ю. Корніловича. – Київ : Освіта України, 2013. – 178 с.

## ДОДАТОК А

### Довідкові дані про хімічний склад сировинних матеріалів

№	Назва сировини	Вміст компонентів, мас. %								Вогнетривкість
		в.п.п.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
Глини України										
1	Часів - Ярска глина Донецької обл.	9,39	51,66	32,06	0,81	0,85	0,61	2,44	1,57	1580 – 1730
2	Веселовська глина (ТОВ «Глини Донбасу»)	5,2	69,9	19,10	2,69	0,52	0,50	2,48-	0,41-	1580 – 1710
3	Дружківська глина Донецької обл.	11,41	57-61	29,95	2,1	0,8	0,43	2,5	0,9	1580 – 1730
4	Андріївська глина Донецької обл. (ТОВ «Веско»):									
	«Екстра»	11,00	60,00	34,00	1,50	0,50	0,60	2,10	0,55	1710
	«Прима»	10,00	60,00	30,00	2,55	0,50	0,60	2,10	0,55	1710
	«Гранітік»	8,50	65,00	28,00	2,50	0,50	0,60	2,10	0,50	1690
	«Керамік»	7,20	70,00	23,00	2,60	0,50	0,40	2,00	0,40	1630
	«Технік-1»	8,30	65,00	27,00	3,50	0,50	0,60	2,00	0,40	1630
	«Технік-2»	7,20	70,00	23,00	3,50	0,50	0,40	2,00	0,40	1590
5	Новорайська глина Донецької обл.									
	ДН-0	9,87	51,36	32,72	1,69	0,76	0,75	1,06	1,00	1580 – 1730
	ДН-1	9,95	51,59	32,25	2,24	0,74	0,78	1,45	1,00	
	ДН-2	9,29	54,25	30,11	3,20	0,74	0,78	1,26	0,90	
	ДНПК-1	7,41	60,25	24,59	4,02	0,75	0,75	2,02	0,40	
6	Полозька глина Запорізької обл.									
	ПЛГ-1	12,96	49,30	34,46	2,23	0,15	0,19	0,33	0,30	1610 – 1730
	ПЛГ-2	11,71	54,68	29,21	1,93	1,03	0,60	0,31	0,18	
	ПЛГ-3	10,9	57,0	27,94	2,08	1,08	0,38	0,28	0,21	
7	П'ятихатська глина Дніпропетровської обл.									
	ПГ-1	10,69	55,50	28,90	1,20	0,60	1,30	0,60	0,70	1580 – 1750
	ПГ-2	12,22	56,20	28,40	1,00	0,90	1,00	0,40	0,30	

Рисунок А.1 – Хімічний склад вогнетривких і тугоплавких глин

№	Назва сировини	Вміст компонентів, мас. %								Вогнетривкість
		в.п.п.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
Глини країн СНД										
8	Латненська глина ЛТ-1 (РФ, Воронежська обл.)	12,44– 9,73	48,10– 49,90	35,08– 34,40	2,81–2,18	0,49– 1,24	0,16– 0,09	0,23– 0,05	0,21– 0,82	1750– 1670
9	Печорська глина (РФ, Псковська обл.)	4,50– 7,00	51,50– 56,10	17,0– 26,00	3,30–4,83	0,32	1,49	4,40	0,26	1350– 1470
10	Трошківська глина (РФ, Іркутська обл.)	4,00– 4,50	48,00– 48,50	37,0– 34,0	0,45–0,66	1,10– 1,30	2,50– 3,00	2,00– 2,20	0,60– 0,70	1640– 1740
11	Лукошинська глина (РФ, Липецька обл.)	6,00– 8,00	60,00– 64,00	19,00	4,22–5,80	0,3– 2,10	–	0,5– 1,80	0,1– 0,20	1430– 1570
12	Чумаківська глина (РФ, Ростовська обл.)	4,58– 7,59	34,32– 68,51	18,45– 24,30	1,96–8,95	0,52– 4,07	0,79– 2,17	1,86– 4,02	0,18– 1,98	1420– 1580
13	Тулунська глина (РФ, Іркутська обл.)	6,28– 5,73	50,79– 64,10	21,40– 28,30	2,30–5,35	0,40– 1,70	0,20– 1,08	0,40– 1,60	0,10– 0,30	1470– 1700
14	Федорівська глина, (РФ, Ростовська обл.)	8,20– 8,80	51,0– 58,80	31,0– 32,00	1,10–2,70	0,2– 1,02	0,50– 0,90	1,80– 3,10	0,37– 1,03	1500– 1700
15	Берлінська глина (РФ, Челябінська обл.)	9,00– 2,00	49,00– 55,35	26,44– 33,03	2,48–7,08	0,10– 0,69	0,24– 1,00	0,93– 1,39	0,25– 0,30	1580– 1710
16	Кумакська глина (РФ, Челябінська обл.)	8,47– 9,17	55,61– 62,19	21,89– 30,56	1,42–6,73	0,50– 1,00	0,54– 0,69	0,31– 0,36	0,02– 0,69	1580– 1740
17	Нижньоувельська глина (РФ, Челябінська обл.)	7,60– 9,50	54,00– 77,00	18,00– 41,00	1,16–5,00	0,20– 0,30	0,60– 0,80	–	–	1610– 1730
18	Глина родовища «Городок» (Білорусь)	4,00– 2,28	53,93– 72,16	17,00– 13,00	4,27–6,41	0,90– 1,90	0,35– 0,96	–	–	1380– 1550
19	Гомельська глина (Білорусь)	3,42– 5,80	75,79– 78,20	8,09– 10,30	3,98–4,52	2,51– 2,75	1,00– 1,27	2,05– 2,27	–	1390– 1580
20	Цілиноградська глина (Казахстан, Астанавська обл.)	7,70–9,4	54,60– 60,00	25,60– 29,10	2,70–3,00	0,60– 0,80	1,40– 1,60	0,80– 1,80	0,10– 0,20	1520– 1700

Продовження рисунка А.1

*Електронне навчальне видання*

Методичні рекомендації

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

## **«ЗАГАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЕВИХ ТА СИЛКАТНИХ МАТЕРІАЛІВ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм  
навчання спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія,  
освітньо-професійна програма «Хімічні технології та інженерія»)*

Укладачі: **САВВОВА** Оксана Вікторівна,  
**БАБІЧ** Олена Вікторівна

Відповідальний за випуск *Т. Д. Панайотова*  
Редактор *М. О. Гаман*  
Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2024, поз. 236М

---

Підп. до друку 21.02.2024. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 3,2.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.