МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВЕЛЬНОЇ КЕРАМІКИ

Методичні вказівки до виконання практичних робіт
для студентів спеціалізації 192.04
«Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»

Київ 2019

ББК 65.034.19
Т54

Укладач: А.А. Майстренко канд. техн. наук, доцент

Рецензент Р.Ф. Рунова д-р техн. наук, професор

Відповідальний за випуск В.І. Гоц д-р техн. наук, професор

Затверджено на засіданні кафедри ТБКВ, протокол № 12 від 20 березня 2019 року

В авторській редакції.

Технологія будівельної кераміки: методичні вказівки до виконання практичних робіт /уклад.: А.А. Майстренко - К.: КНУБА, 2019. – 28 с.

Т 54

Розглянуто основні підходи щодо виконання робіт.

Призначено для студентів спеціалізації 192.04 «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»

© КНУБА, 2019

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Мета практичних занять – поглиблення і закріплення теоретичних знань одержаних під час вивчення дисципліни.

В результаті виконання практичних робіт студенти набувають навичок розрахунку та проектування технологічних процесів у виробництві кераміки. Окрім того, технологічні розрахунки передбачають залучення студентів до самостійної роботи з науково-технічної літератури, довідниками, каталогами та нормативною базою.

Студенти денної форми навчання виконують розрахунки на практичних заняттях або у складі індивідуального завдання, студенти заочної форми навчання – в складі індивідуальної роботи.

Інформаційною базою для виконання роботи є матеріали лекційного курсу, підручники, навчальні посібники, нормативно-довідкова література.

Робота виконується за індивідуальним завданням яке видає викладач.

ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Якість керамічних виробів, технологія їх виробництва базуються на складах мас, прийнятих для виготовлення даного виду виробів. Правильність вибору складу шихти визначається технологічними властивостями маси, які повинні забезпечувати раціональний процес виробництва і високу якість продукції при мінімальних енергетичних і матеріальних витратах.

Уміння правильно розраховувати склади, здійснювати своєчасне коректування при зміні вологості сировинних матеріалів, заміні окремих компонентів шихти і так далі є підґрунтям випуску якісної продукції.

1. Розрахунок вмісту речовини, вологості матеріалів і керамічних мас

1.1. Перерахунок кількості вологого матеріалу на суху речовину

При розрахунку кількості вологих матеріалів використовують такі характеристики, як абсолютна і відносна вологість.

Абсолютну вологість W_a, або вологість, віднесену до висушеного до постійної ваги наважки, знаходять за формулою:

$$W_а = \frac{q_0 - q_1}{q_1} \cdot 100\%,$$

де q_o – маса вологого матеріалу; q_1 – маса матеріалу, висушеного до постійного значення.

Відносну вологість W, або вологість, віднесену до маси вологого матеріалу, визначають за формулою:

$$W = \frac{q_0 - q_1}{q_0} \cdot 100\%.$$

Співвідношення між абсолютною і відносною вологістю виражається залежностями:

$$W = \frac{100W_а}{100 + W_а}; \quad W_а = \frac{100W}{100 - W}.$$

Приклад. Визначити відносну кар'єрну вологість глини, якщо наважка масою 20,35 г після сушіння в сушильній шафі зменшилася до 15,72 г.

$$W = \frac{20,35 - 15,72}{20,35} \cdot 100\% = 22,75\%.$$

Абсолютна вологість завжди має більше значення і для даної глини складає: $W_а$ = 29,45%.

На практиці всі технологічні розрахунки з матеріалами проводяться по сухій речовині, тобто склади матеріалів перераховуються на продукт, що не містить механічно зв'язаної води. Перерахунок ведуть за такою формулою:

$$X_с = \frac{q_{вл} \cdot (100 - W)}{100},$$

де $X_с$ – вихідна маса сухого матеріалу, г; $q_{вл}$ – вихідна маса вологого матеріалу, г; W – вологість матеріалу, %.

Приклад. Розрахувати кількість сухої речовини, що міститься в 1850 кг глини з вологістю 22%.

$$X_{\text{с}} = \frac{1850 \cdot (100 - 22)}{100} = 1443 \text{ кг.}$$

Перерахунок на суху речовину суміші (шихти), що містить декілька компонентів, проводиться за формулами:

$$X_{\text{с}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{a_i \cdot (100 - W) \cdot 100}{100b}$$

(якщо склад не перерахований на 100%)

$$X_{\text{с}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{a_i \cdot (100 - W)}{100}$$

(якщо склад приведений до 100%)

де X_c – вихідна маса сухої речовини в суміші; a_i – вміст окремої складової частини, %; $100b$ – загальна сума складових частин шихти a_i, %.

Приклад. Розрахувати кількість сухої речовини, що міститься в шихті складу, мас. %: глина – 70; гранітний відсів – 15; металургійний шлак – 10; шамот – 5, якщо вологість глини – 24; гранітного відсіву – 7; шлаку – 5; шамоту – 0,5%. Маса шихти – 450 кг.

$$X_{\text{с}} = \frac{450 \cdot 0,7 \cdot (100 - 24)}{100} + \frac{450 \cdot 0,15 \cdot (100 - 7)}{100} + \frac{450 \cdot 0,1 \cdot (100 - 5)}{100} +$$

$$+ \frac{450 \cdot 0,05 \cdot (100 - 0,5)}{100} = 239,4 + 62,8 + 42,7 + 22,4 = 367,3 \text{ кг.}$$

1.2. Перерахунок вмісту сухої речовини на вологий матеріал

Перерахунок здійснюється за формулою:

$$X_{\text{вл}} = \frac{q_{\text{с}} \cdot 100}{100 - W},$$

де $X_{вл}$ – маса вологого матеріалу, яку знаходять; q_c – вихідна маса сухого матеріалу; W – відносна вологість.

Іноді на практиці перерахунки сухого матеріалу на вологий проводять, приймаючи масу сухого матеріалу за 100%. Тоді:

$$X_{вл} = \frac{q_с \cdot (100 + W_а)}{100}.$$

Приклад. Визначити масу матеріалу при його зволоженні до 16%. Початкова вологість 0%. Кількість матеріалу 850 кг

$$X_{вл} = \frac{850 \cdot 100}{100 - 16} = 1011{,}9 \text{ кг.}$$

1.3. Перерахунок матеріалу з однієї вологості на іншу

Такий розрахунок необхідний при зміні в технологічному процесі вологості матеріалу, наприклад при розпуску глини, обезводненні шлікера і ін. Здійснюється за формулою:

$$X_{вл} = \frac{q \cdot (100 - W)}{100 - W_1},$$

де $X_{вл}$ – маса матеріалу з новою вологістю, яку знаходять; q – маса матеріалу з вихідною вологістю; W – вихідна вологість матеріалу; W_1 – вологість матеріалу після його переробки.

Приклад. Дана природна глина масою 300 кг і вологістю 15%. Необхідно визначити її масу після зволоження до 24%.

$$X_{вл} = \frac{300 \cdot (100 - 15)}{100 - 24} = 335{,}5 \text{ кг.}$$

Приклад. Суспензію фарфорової (порцелянової) маси (4500 кг) з вологістю 55% пропустили через фільтрпрес. Вологість коржів після зневоднення склала 22%. Визначити масу коржів.

$$X_{корж} = \frac{4500 \cdot (100 - 55)}{100 - 22} = 2596{,}15 \text{ кг.}$$

Приклад. Даний склад фарфорової (порцелянової) маси, мас. %: глина часов'ярска – 16; каолін просянівский – 35; кварцовий пісок – 25; польовий шпат – 24. Вихідні матеріали мають вологість %: глина – 20; каолін – 18; кварцовий пісок – 0,5; польовий шпат – 1. Потрібно розрахувати необхідну кількість матеріалів і води для отримання 100 кг маси з вологістю 22%.

Необхідна кількість сухих матеріалів (глини) складає:

$$\frac{100 \cdot 0{,}16 \cdot (100 - 22)}{100} = 12{,}5 \text{ кг.}$$

Аналогічно визначається кількість інших матеріалів, кг: каоліну – 27,3; польового шпату – 18,7; кварцового піску – 19,5. Кількість води в масі складе:

100 – 12,5 27,3 18,7 19,5 = 22 кг (або 100 × 0,22 = 22 кг).

З урахуванням вологості кількість матеріалів складе:

- глини – (12,5 × 100) / (100 – 20) = 15,6 кг (вода в глині складе: 15,6 – 12,5 = 3,1 кг);
- каоліну – 33,3 кг (води в каоліні – 6,0 кг);
- польового шпату – 18,9 (вода в польовому шпаті – 0,2 кг);
- кварцового піску – 19,6 (вода в кварцовому піску – 0,1 кг).

При цьому в масу потрібно буде додати воду в кількості:

22 – 3,1 – 6,0 – 0,2 – 0,1 = 12,6 кг

Цих же значень кількості матеріалів можна набути з формули перерахунку матеріалу з однієї вологості на іншу. Наприклад, для глини:

$$X_{\text{гл}} = \frac{100 \cdot 0{,}16 \cdot (100 - 22)}{100 - 20} = 15{,}6 \text{ кг.}$$

Розрахунок необхідної кількості суспензії і порошку для приготування керамічної маси заданої вологості проводиться таким чином:

$$X_{\text{пор}} = \frac{W_{\text{сусп}} - W_{\text{м}}}{W_{\text{сусп}} - W_{\text{пор}}} \cdot 100\%;$$

$$X_{\text{сусп}} = \frac{W_{\text{м}} - W_{\text{пор}}}{W_{\text{сусп}} - W_{\text{пор}}} \cdot 100\%,$$

де $X_{\text{пор}}$ – кількість порошку для керамічної маси, %; $X_{\text{сусп}}$ – кількість керамічної суспензії, %; $W_{\text{сусп}}$, $W_{\text{пор}}$, $W_{\text{М}}$ – відповідно вологості суспензії, пороша і маси %.

Приклад. Визначити необхідну кількість фаянсового шлікеру (суспензії) і порошку для приготування з них керамічної маси з вологістю 24%. Вологість порошку 8%. Вологість шлікеру 58%.

$$X_{шл} = \frac{24-8}{58-8} \cdot 100\% = 32\%;$$

$$X_{пор} = \frac{58-24}{58-8} \cdot 100\% = 68\%.$$

Перевіряємо правильність розрахунку: W_M = (58×0,32) + (8×0,68) = 24%, що відповідає завданню.

2. Розрахунок хімічного і шихтового складів мас і глазурі

2.1. Розрахунок хімічного складу маси

Для виконання необхідного розрахунку необхідно знати шихтовий склад маси, а також хімічний склад вживаних сировинних матеріалів.

Приклад. Розрахувати хімічний склад маси у виробництві кахлів, що містить, мас. %: глина никифорівска – 42,5; глина ДНПК – 22,5; нефелін-сієніт – 20; кварцовий пісок – 10; бій виробів – 5.

Перш ніж приступити до розрахунку, потрібно з шихтового рецепту маси виключити бій (оскільки зазвичай використовуються відходи виробництва цього ж виду виробів, які не впливають на хімічний склад маси) і привести рецептуру до 100%. В результаті до розрахунку приймається наступний шихтовий склад маси, мас.%: глина никифорівская – 44,74; глина ДНПК – 23,68; нефелін-сієніт – 21,05; кварцовий пісок – 10,53.

Вживані сировинні матеріали мають хімічний склад, приведений у табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад сировинних матеріалів

Компоненти шихти	Оксиди та їх вміст,%								
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	в.п.п.
Глина нікіфоровська	56,02	0,96	23,46	9,17	0,75	0,74	-	-	8,90
Глина ДНПК	60,97	0,71	22,26	1,76	2,79	2,04	2,34	-	7,13
Нефелін-сієніт	44,37	-	28,97	3,30	2,20	0,43	11,94	7,67	1,12
Кварцевий пісок	96,38	-	1,47	0,05	0,50	-	0,13	0,15	1,32

Якщо хімічний склад сировинних матеріалів не рівний 100%, то його слід перерахувати.

Далі розраховується вміст оксидів, що вводяться в масу кожним компонентом шихти відповідно до рецепту, а потім обчислюється сумарна кількість кожного оксиду в масі. Наприклад, при введенні в масу 44,74% никифорівскої глини буде введено:

SiO_2: 56,02 × 0,4474 = 25,06 мас.ч.;
TiO_2: 0,96 × 0,4474 = 0,43 мас.ч.;
$A1_2O_3$: 23,46 × 0,4474 = 10,50 мас.ч.;
Fe_2O_3: 9,17 × 0,4474 = 4,10 мас.ч.;
CaO: 0,75 × 0,4474 = 0,34 мас.ч.;
MgO: 0,74 × 0,4474 = 0,33 мас.ч.;
в.п.п.: 8,90 × 0,4474 = 3,98 мас.ч.

Аналогічно розраховується кількість оксидів, що вносяться глиною ДНПК, нефелін-сієнітом і кварцовим піском.

Дані розрахунків вводяться в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахункові дані визначення хімічного складу маси

Компоненти шихти	Шихтовий склад, мас.%	Вміст оксидів, які введені кожним компонентом маси, мас.ч.								
		SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	в.п.п.
Глина нікіфоровська	44,74	25,06	0,43	10,50	4,10	0,34	0,33	-	-	3,98
Глина ДНПК	23,68	14,44	0,17	5,27	0,42	0,66	0,48	0,55	-	1,69
Нефелін-сієніт	21,058	9,34	-	6,10	0,69	0,46	0,10	2,51	1,61	0,24
Кварцевий пісок	10,53	10,15	-	0,15	0,01	0,05	-	0,01	0,02	0,14
Σ на непрожарену речовину	100,00	58,99	0,60	22,02	5,22	1,51	0,91	3,07	1,63	6,05
Компоненти шихти	Шихтовий склад, мас.%	Вміст оксидів, які введені кожним компонентом маси, мас.ч.								
		SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	в.п.п.
Σ на прожарену речовину	100,00	62,79	0,64	23,44	5,55	1,61	0,97	3,27	1,73	-

Таким чином, хімічний склад керамічної маси буде таким, мас.%:

SiO_2 – 62,79; TiO_2 – 0,64; $A1_2\ O_3$ – 23,44; Fe_2O_3 – 5,55; CaO – 1,61; MgO – 0,97; Na_20 – 3,27; K_20 – 1,73.

При проведенні розрахунку допустимі такі спрощення. Якщо компонент вводять в незначній кількості, то можна включити в розрахунок лише ті оксиди, які є в ньому переважаючими. Вміст Fe_2O_3 і TiO_2 зазвичай приплюсовують до $A1_20_3$. Вміст лужних оксидів визначають як суму $K_20 + Na_20$.

Перерахунок складу на прожарену речовину проводять шляхом ділення вмісту в масі кожного оксиду на величину (100 – в.п.п.), тобто приведенням складу до 100% без в.п.п. Результат визначається у відсотках. Наприклад, для $Si0_2$:

$$\frac{58,99 \cdot 100}{100 - 6,05} = 62,79\%.$$

2.2. Розрахунок втрат при прожарюванні шихти (в.п.п.)

Розрахунок в.п.п. шихти проводять виходячи з величини в.п.п. кожного сировинного матеріалу і його кількісного вмісту в шихті.

Приклад. Розрахувати втрати при прожарюванні шихти, що містить, мас. %: глина «Городок» (нижній шар) – 50; глина ДНПК – 15; нефелін-сієніт – 13; кварцевий пісок – 15; шамот – **7.** Хімічний склад сировинних матеріалів приведений в додатку.

В.п.п., %, будуть рівні:

$$7,69 \cdot 0,50 + 8,91 \cdot 0,15 + 0,36 \cdot 0,13 + 1,32 \cdot 0,15 + 0 \cdot 0,07 = 5,43.$$

Примітка. Шамот не має втрат при прожарюванні, оскільки пройшов випалювання при високій температурі.

2.3. Розрахунок коефіцієнта кислотності керамічних мас

Одним з показників поведінки керамічних виробів під час випалювання і експлуатації є коефіцієнт кислотності (КК) керамічних матеріалів, тобто відношення еквівалентів кислот до еквівалентів основ. Коефіцієнт кислотності визначають за формулою:

$$КК = \frac{RO_2}{R_2O + RO + 3R_2O_3},$$

де RO_2 – вміст SiO_2, TiO_2 и SnO_2, молей; R_2O – вміст Na_2O и K_2O, молей; RO – вміст CaO и MgO, молей; R_2O_3 – вміст $A1_20з$ і Fe_20_3, молей.

Приклад. Даний молекулярний склад фарфору (порцеляни), молей: SiO_2 – 16,3864; $A1_2\ O_3$ – 3,3455; Fe_20_3 – 0,0493; TiO_2 – 0,0634; CaO – 0,1101; MgO – 0,1861; K_20 – 0,4852; Na_20 – 0,2186. Знайти коефіцієнт кислотності.

$$КК = \frac{16,3864 + 0,0634}{0,1101 + 0,1861 + 0,4852 + 0,2186 + 3 \cdot (3,3455 + 0,0493)} =$$

$$= \frac{16,4498}{11,1844} = 1,47.$$

Коефіцієнт кислотності твердого фарфору (порцеляни) рівний 1,1-1,3; м'якого фарфору (порцеляни) – 1,68 – 1,75; господарського – 1,26 – 1,65; фаянсу – 1,4 – 1,5; майоліки – 1,40 – 1,45; для керамічних виробів інших видів досягає 2, але не більш.

З підвищенням кислотності маси збільшується крихкість кераміки і зростає її здібність до деформації при випалюванні, поліпшується просвічуваність, але знижується термостійкість виробів.

Відношення R_2O_3 / (R_2O + RO) також характеризує стійкість керамічних мас до випалювання. Для фарфору (порцеляни) воно знаходиться в межах 2 – 5. Чим більше це відношення, тим стійкіше за масу до випалювання.

2.4. Розрахунок хімічних складів глазурі

Як правило, у виробництві керамічних виробів глазурі задаються хімічним складом, який може бути виражений в молярних або масових відсотках, або молекулярною формулою Зегера. У ряді випадків потрібні перерахунки з одного виду хімічного складу в іншій.

Приклад. Даний хімічний склад глазурі мас. %: $Si0_2$ – 61,31; $A1_20_3$ – 7,4; B_20_3 – 15,5; CaO – 5,54; MgO – 2,05**;** K_20 – 4,68; Na_20 – 3,52. Потрібно представити хімічний склад даної глазурі в молярних відсотках.

В даному випадку слід визначити відносне число молей кожного з оксидів, що входять до складу глазурі, шляхом ділення вмісту кожного

оксиду у відсотках на його відносну молекулярну масу (М). Потім отримані результати приводять до 100% шляхом ділення вмісту кожного оксиду в молях на сумарний вміст молей оксидів:

	мас.%		М		молі		мол.%
SiO_2	– 61,31	:	60,10	→	1,0201	→	64,91
Al_2O_3	– 7,40	:	101,96	→	0,0726	→	4,62
B_2O_3	– 15,50	:	69,62	→	0,2226	→	14,17
CaO	– 5,54	:	56,10	→	0,0988	→	6,29
MgO	– 2,05	:	40,31	→	0,0509	→	3,24
K_2O	– 4,68	:	94,20	→	0,0497	→	3,16
Na_2O	– 3,52	:	61,98	→	0,0568	→	3,61
					∑1,5715		∑100

При переводі молярних відсотків в масові потрібно вміст кожного оксиду в молярних відсотках перевести в масові долі і помножити на його молекулярну масу (М). Отриману суму привести до 100%.

Приклад. Даний хімічний склад глазурі, мол. %: $Si0_2$ – 56,71; $A1_20_3$ – 3,8; B_20_3 – 17,9; CaO – 6,85; MgO – 3,98; K_20 – 3,64; Na_20 – 7,12. Потрібно виразити склад глазурі в масових відсотках.

	мас.%		М		мас.долі		мас.ч.		мас.%
SiO_2	– 56,71	→	60,10	·	0,5671	→	34,08	→	53,51
Al_2O_3	– 3,80	→	101,96	·	0,0380	→	3,87	→	6,08
B_2O_3	– 17,90	→	69,62	·	0,1790	→	12,46	→	19,56
CaO	– 6,85	→	56,10	·	0,0685	→	3,84	→	6,03
MgO	– 3,98	→	40,31	·	0,0398	→	1,60	→	2,51
K_2O	– 3,64	→	94,20	·	0,0364	→	3,43	→	5,39
Na_2O	– 7,12	→	61,98	·	0,0712	→	4,41	→	6,92
							∑63,69		∑100

Приклад. Даний хімічний склад глазурі, мас. %: $Si0_2$ – 47,7; $A1_20_3$ – 7,48; B_20_3 – 15,6; PbO – 12,42; CaO – 6,86; MgO – 2,22; K_20 – 4,48; Na_20 – 3,24. Потрібно розрахувати молекулярну формулу глазурі (формулу Зегера).

При визначенні молекулярної формули спочатку необхідно масові відсотки вмісту кожного з оксидів, що входять до складу глазурі,

перевести у відносне число молей. При складанні молекулярної формули суму молей речовин R_2O і RO, що містяться в глазурі, прирівнюють до одиниці і обчислюють ті, що доводяться на 1 моль R_20 + RO число молей оксидів типу R_2O_3 ($A1_2O_3$, Fe_2O_3, Cr_2Oз і ін.) і кислотних оксидів RO_2 (SiO_2, B_2O_3). Кінцева формула має вигляд:

$$1(R_2O + RO) \cdot mR_2O_3 \cdot nRO_2.$$

а) розрахунок вмісту відносного числа молей оксидів, що входять до складу глазурі:

		мас.%		M		молі
SiO_2	–	47,70	:	60,10	→	0,7937
Al_2O_3	–	7,48	:	101,96	→	0,0734
B_2O_3	–	15,60	:	69,62	→	0,2241
PbO	–	12,42	:	223,19	→	0,0556
CaO	–	6,86	:	56,08	→	0,1223
MgO	–	2,22	:	40,31	→	0,0551
K_2O	–	4,48	:	94,20	→	0,0476
Na_2O	–	3,24	:	61,98	→	0,0523
						∑1,4241

Далі формула глазурі може бути представлена в наступному вигляді:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}0523Na_2O \\ 0{,}0476K_2O \\ 0{,}0551MgO \\ 0{,}1223CaO \\ 0{,}0556PbO \end{array}\right\} 0{,}0734Al_2O_3 \left.\right\} \frac{0{,}7937SiO_2}{0{,}2241B_2O_3}$$

$$\overline{\sum 0{,}3329}$$

б) обчислення молекулярної формули: сума оксидів R_20 и RO (0,0523 + 0,0476 + 0,0551 + 0,1223 + 0,0556 = 0,3329) прирівнюється до одиниці. Для перерахунку решти оксидів слід розділити число молей кожного на 0,3329. Тоді молекулярний склад глазурі буде наступним:

$$\left.\begin{array}{l}0{,}1670PbO\\0{,}3674CaO\\0{,}1655MgO\\0{,}1430K_2O\\0{,}1571Na_2O\end{array}\right\}0{,}2205Al_2O_3\left.\right\}\frac{2{,}3842SiO_2}{0{,}6732B_2O_3}$$

$$\overline{\sum 1{,}0}$$

Аналогічним чином обчислюється молекулярна формула для керамічних мас. Наприклад, молекулярна формула твердого фарфору (порцеляни) матиме вигляд:

$$1(R_2O + RO) \cdot 5{,}0Al_2O_3 \cdot (17{,}5 - 20{,}0)SiO_2.$$

Для обчислення вмісту оксидів за молекулярним складом або молярним відсоткам необхідний вміст кожного оксиду в молях або молярних відсотках помножити на відповідну відносну молекулярну масу (М), а суму, що вийшла, прийняти за 100%.

Приклад. Розрахувати хімічний склад глазурі за її молекулярною формулою:

$$\left.\begin{array}{l}0{,}30Na_2O\\0{,}15K_2O\\0{,}10ZnO\\0{,}20SrO\\0{,}25BaO\end{array}\right\}0{,}28Al_2O_3\left.\right\}\frac{3{,}62SiO_2}{1{,}20B_2O_3}$$

Розрахунок ведеться таким чином:

	молі		М		мас.ч.		мас.%
SiO_2	– 3,62	·	60,10	→	217,56	→	50,65
B_2O_3	– 1,20	·	69,62	→	83,54	→	19,45
Al_2O_3	– 0,28	·	101,96	→	28,55	→	6,65
BaO	– 0,25	·	153,34	→	38,34	→	8,92
SrO	– 0,20	·	103,62	→	20,72	→	4,82
ZnO	– 0,10	·	81,37	→	8,14	→	1,89
K_2O	– 0,15	·	94,20	→	14,13	→	3,29
Na_2O	– 0,30	·	61,98	→	18,59	→	4,33
					∑429,57		∑100

Таким чином, хімічний склад глазурі буде таким, мас. %: $Si0_2$ – 50,65; $A1_20_3$ – 6,65; B_20_3 – 19,45; BaO – 8,92; SrO – 4,82; ZnO – 1,89; K_20 – 3,29; Na_20 – 4,33.

2.5. Розрахунок шихтового складу глазурі

Розрахунок шихтового складу глазурі проводиться на основі заданого хімічного складу відповідно до використовуваних сировинних компонентів і їх хімічного складу. Як сировинні компоненти використовуються природні (кварцовий пісок, крейда, доломіт, пегматит), у тому числі і збагачені (каолін, польовошпатна сировина), а також продукти хімічних виробництв (глинозем, оксид магнію, кальцинована сода, поташ, борна кислота і ін.).

Розрахунок шихтового складу глазурі починають з компонентів, що мають складний склад і що забезпечують введення декількох оксидів. В цьому випадку розрахунок проводиться виходячи з хімічного складу компоненту. Оксиди, що додатково вводяться з основним оксидом, віднімаються при подальших розрахунках. Якщо використовувані матеріали є хімічно чистими, то у такому разі перехід від оксидного складу до шихтового можна здійснювати через перевідні коефіцієнти, які розраховуються виходячи з хімічних реакцій, що протікають при високих температурах в процесі варки фрити (для фритованої глазурі) або при наплавленні глазурі (для не фритованої), наприклад:

$$\text{крейда } (CaCO_3) \xrightarrow{t^\circ C} CaO + CO_2;$$

$$100,09 \longrightarrow 56,08 + 44,01,$$

звідки витікає, що для введення до складу глазурі 56,08 мас.ч. CaO необхідно ввести 100,09 мас.ч. крейди, тобто

$$K = \frac{100,09}{56,08} = 1,78.$$

Перевідний коефіцієнт може бути розрахований виходячи з кількісного вмісту оксиду у вживаному компоненті, наприклад при вмісті 99% $Si0_2$ в кварцовому піску K = 100/99 = 1,01.

Якщо в процесі варки компонент звітрюється, то це враховується при розрахунку, наприклад для борної кислоти з урахуванням 12% на звітрювання перевідний коефіцієнт буде рівний 1,77 плюс 12%, що у результаті складе біля 2.

Приклад. Розрахувати шихтовий склад фрити, що має наступний хімічний склад, мас. %: $Si0_2$ – 60,02; $A1_20_3$ – 11,49; B_20_3 – 10,92; CaO – 2,53; MgO – 1,5; K_20 – 6,67; Na_20 – 3,79; $Zr0_2$ – 3,08.

У даному прикладі потрібно ввести: SiO_2 – кварцевим піском, $A1_2O_3$ – пегматитом, B_2O_3 – борною кислотою, CaO – крейдою, MgO – магнезією, K_2O – поташем, Na_2O – кальцинованою содою, ZrO_2 – цирконом.

Розрахунок шихтового складу глазурі починають з пегматиту, з яким вводяться різні оксиди.

Хімічний склад пегматиту, мас.%: $Si0_2$ – 70,39; TiO_2 – 0,13; $A1_20_3$ – 16,94; Fe_20_3 – 0,25; CaO – 1,02; MgO – 0,48; Na_20 – 2,9; K_20 – 7,46; в.п.п. – 0,43.

З приведеного хімічного складу пегматиту видно, що при введенні 100 мас.ч. до складу глазурі увійде 16,94 мас.ч. $A1_20_3$. За умовою завдання в глазурі необхідно мати 11,49 мас.ч. $A1_20_3$; кількість пегматиту, що забезпечує цю кількість, розраховується виходячи із співвідношення:

$$100 \text{ мас. ч. пегматита} - 16{,}94 \text{ мас. ч. } Al_2O_3$$
$$X_{\text{пегм}} - 11{,}49 \text{ мас. ч. } Al_2O_3$$

$$X_{\text{пегм}} = \frac{100 \cdot 11{,}49}{16{,}94} = 67{,}83 \text{ мас. ч.}$$

Додатково з пегматитом до складу глазурі увійдуть наступні оксиди: $Si0_2$, Na_20, K_20. Вміст решти оксидів незначний і в розрахунку не враховується. Кількість оксидів розраховується виходячи із співвідношення:

$$100 \text{ мас. ч. пегматита} - A_{\text{окс}} \text{ мас. ч.}$$
$$67{,}83 \text{ мас. ч. пегматита} - X_{\text{окс}}$$

$$X_{SiO_2} = \frac{67{,}83 \cdot 70{,}39}{100} = 47{,}75 \text{ мас. ч.;}$$

$$X_{Na_2O} = \frac{67{,}83 \cdot 2{,}9}{100} = 1{,}97 \text{ мас. ч.;}$$

$$X_{K_2O} = \frac{67{,}83 \cdot 7{,}46}{100} = 5{,}06 \text{ мас. ч.}$$

Аналогічним чином розраховується вміст цирконового концентрату, що вводиться (за умови, що в ньому міститься 65% ZrO_2 і 33% SiO_2).

$$X_{\text{цирк.конц}} = \frac{100 \cdot 3,08}{65} = 4,74 \text{ мас. ч.};$$

$$X_{SiO_2} = \frac{4,74 \cdot 33}{100} = 1,56 \text{ мас. ч.}$$

Далі, враховуючи кількість оксидів, введених з пегматитом і цирконовим концентратом, і використовуючи перевідні коефіцієнти, можна продовжити розрахунок таким чином:

Оксид	Вміст, мас.%	Матеріал (перевідний коефіцієнт)	Шихта на 100кг фрити	Шихтовий склад фрити, мас. %
SiO_2	60,02–47,75–1,56	Кварцевий пісок (1,01)	10,82	9,27
Al_2O_3	11,49	Пегматит	67,83	58,11
B_2O_3	10,92	Борна кислота (2)	21,84	18,71
CaO	2,53	Крейда (1,78)	4,50	3,86
MgO	1,48	Магнезія (1,01)	1,52	1,30
K_2O	6,67 – 5,06	Поташ (1,48)	2,38	2,04
Na_2O	3,79 – 1,97	Сода кальцинована (1,7)	3,09	2,65
ZrO_2	3,08	Цирконовий концентрат	4,74	4,06
			∑116,69	∑100

Таким чином, шихтовий склад фрити буде наступний, мас.%: кварцовий пісок – 9,27; пегматит – 58,11; борна кислота – 18,71; крейда – 3,86; магнезія – 1,30; поташ – 2,04; сода кальцинована – 2,65; цирконовий концентрат – 4,06.

Розрахунок хімічного складу глазурі по її шихтовому складу ведеться аналогічно розрахунку хімічного складу маси по її шихтовому складу (див. п.2.1).

3. Розрахунок властивостей глазурі

3.1. Розрахунок температурного коефіцієнта лінійного розширення глазурі (ТКЛР)

Розрахунок ТКЛР здійснюється за методом Аппена по загальній формулі:

$$\alpha \cdot 10^7 = \frac{A_1\overline{\alpha}_1 + A_2\overline{\alpha}_2 + ... + A_n\overline{\alpha}_n}{100} = \frac{\sum A_i\overline{\alpha}_i}{100},$$

або

$$\alpha \cdot 10^7 = \frac{a_1\overline{\alpha}_1 + a_2\overline{\alpha}_2 + ... + a_n\overline{\alpha}_n}{\sum a_i} = \frac{\sum a_i\overline{\alpha}_i}{\sum a_i}.$$

Приведені формули відрізняються тільки способом виразу складів:

A_i – вміст оксидів, мол. %;

α_i – усереднені парціальні коефіцієнти розширення оксидів;

a_i – вміст оксидів, молей (застосовується при використанні молекулярної формули глазурі).

Усереднені парціальні коефіцієнти розширення оксидів є відомими даними і беруться з таблиць (табл. 3), а для $Si0_2$, B_20_3, TiO_2 и PbO їх обчислюють по наближених емпіричних формулах, оскільки їх величина залежить від хімічного складу глазурі.

Для розрахунку $\overline{\alpha}$ оксидів користуються формулою:

$$\overline{\alpha}_{SiO_2} \cdot 10^7 = 38 - 1(A_{SiO_2} - 67),$$

де A_{Si0_2} – молярний відсоток кремнезему в глазурі.

Якщо $Si0_2$ міститься в глазурі в кількості, рівній або меншій 67 мол.%, то величина α_{Si0_2} умовно приймається постійною і рівною 38.

$$\overline{\alpha}_{TiO_2} \cdot 10^7 = 30 - 1,5(A_{SiO_2} - 50),$$

тобто розрахунковий коефіцієнт для оксиду титану залежить від вмісту $Si0_2$ в глазурі.

$$\overline{\alpha}_{B_2O_3} \cdot 10^7 = 12,5(4 - \psi) - 50,$$

де Ψ - відношення сумарного числа молей оксидів Li_20, Na_20, K_20, CaO, BaO до числа молей оксиду B_2O_3:

$$\psi = \frac{A_{Li_2O} + A_{Na_2O} + A_{K_2O} + A_{CaO} + A_{BaO}}{A_{B_2O_3}}.$$

Якщо Ψ > 4, то $\alpha_{B_2O_3} \cdot 10^7$ умовно приймається постійним і рівним 50. При обчисленні Ψ наявність в склі оксидів MgO, ZnO и PbO до уваги не приймається. У разі одночасної присутності в склі борного ангідриду і $A1_20_3$ коефіцієнт Ψ визначається за формулою:

$$\psi = \frac{A_{R_2O} + A_{RO} - A_{Al_2O_3}}{A_{B_2O_3}},$$

де A_{R_2O} и A_{R0} – сумарні молярні відсотки вмісту оксидів металів із ступенем окислення 1 і 2.

Таблиця 3

Усереднені парціальні розрахункові коефіцієнти лінійного розширення оксидів і фторидів в силікатних стеклах

Компонент	$\bar{a}_i \cdot 10^7$ в інтервалі 20-400°С	Молекулярна вага	Компонент	$\bar{a}_i \cdot 10^7$ в інтервалі 20-400°С	Молекулярна вага
SiO_2	5-38	60,09	CoO	50	74,9
Li_2O	270	29,9	NiO	50	74,7
Na_2O	395	62,0	CuO	30	79,6
K_2O	465	94,2	Al_2O_3	-30	101,9
BeO	45	25,0	B_2O_3	0-50	69,9
MgO	60	40,3	Sb_2O_3	75	291,5
CaO	130	56,1	TiO_2	Від+30 до -15	79,9
SrO	160	103,6	ZrO_2	-60	123,2
BaO	200	153,4	SnO_2	-45	150,7
ZnO	50	81,4	P_2O_5	140	142,0
CdO	115	128,4	CaF_2	180	78,1
PbO	130-190	223,2	Na_2SiF_6	340	188,1
MnO	105	70,9	Na_3AlF_6	480	210,1
FeO	55	71,8	FeO	55	79,8

Примітка. Для $Si0_2$ мінімальне значення коефіцієнта дане для чистого кварцевого скла, а максимальне – для скла або глазурі при вмісті $Si0_2$ 67%

або менше.

Для PbO мінімальне значення коефіцієнта дане для глазурі із вмістом лугів 3% або менше, а максимальне – для глазурі, що містить 21% лугів.

Для B_20_3 мінімальне значення коефіцієнта відповідає глазурі з відношенням суми молей оксидів Li_20, K_20, Na_20, CaO и BaO до числа молей оксиду B_20_3, близьким до нуля, а при максимальному значенні α_i це відношення повинно бути рівним 4 або більше.

Для TiO_2 максимальне значення коефіцієнта дане для глазурі, що містить 50% і менше $Si0_2$, а мінімальне – для глазурі, що містить 65% і більше $Si0_2$.

Розрахунковий коефіцієнт розширення оксиду свинцю сильно міняється залежно від вмісту в глазурі лужних оксидів. Так, при вмісті в склі менше 3% лугів для оксиду свинцю $\alpha_{PbO} = 30$. При вмісті ж лугів вище 3% на кожен молярний відсоток лужних оксидів до розрахункового коефіцієнта додається п'ять одиниць. Розрахункова формула для цього випадку може бути представлена в наступному вигляді:

$$\overline{\alpha}_{PbO} \cdot 10^7 = 130 + 5(A_{R_2O} - 3).$$

На практиці хімічний склад глазурі частіше задається в масових відсотках, тому для розрахунку ТКЛР глазурі необхідно рецепт глазурі перерахувати в молярні відсотки.

Приклад. Розрахувати ТКЛР глазурі наступного хімічного складу, мас. %: $Si0_2$ – 49,2; $A1_20_3$ – 10,2; B_20_3 – 15,15; CaO – 6,3; MgO – 1,8; ZnO – 4,15; BaO – 2,85; K_20 – 4,85; Na_20 – 5,5.

Відносне число молей кожного оксиду, що входить до складу глазурі, виходить шляхом ділення масових відсотків на відповідні молекулярні маси. Для перерахунку в молярні відсотки користуються формулою:

$$A_i = \frac{\alpha_i \cdot 100}{\sum \alpha_i},$$

де A_i – відшукуваний молярний відсоток оксиду; α_i – кількість молей даного оксиду.

	мас. %		число молей (α_i)		мол. % (A_i)
SiO_2 –	49,20	→	0,8188	→	54,46
Al_2O_3 –	10,20	→	0,1001	→	6,66
B_2O_3 –	15,15	→	0,2177	→	14,48
CaO –	6,30	→	0,1123	→	7,47
MgO –	1,80	→	0,0447	→	2,97
ZnO –	4,15	→	0,0510	→	3,39
BaO –	2,85	→	0,0186	→	1,24
K_2O –	4,85	→	0,0515	→	3,43
Na_2O –	5,50	→	0,0887	→	5,90
	Σ100		Σ1,5034		Σ100

Константи (усереднені парціальні коефіцієнти розширення) для $Si0_2$ (кількістю $Si0_2$ менше 67%), $A1_20_3$, CaO, MgO, ZnO, BaO, K_20 і Na_20 беруть з табл.3, коефіцієнт розширення для B_20_3 визначається за формулою:

$$\bar{\alpha}_{B_2O_3} \cdot 10^7 = 12,5(4-\psi) - 50;$$

$$\psi = \frac{A_{R_2O} + A_{RO} - A_{Al_2O_3}}{A_{B_2O_3}} = \frac{5,90 + 3,43 + 7,47 + 1,24 - 6,66}{14,48} = 0,79;$$

$$\bar{\alpha}_{B_2O_3} \cdot 10^7 = 12,5(4-0,79) - 50 = -9,9.$$

Від'ємні значення α_i не слід розуміти в тому сенсі, що відповідні оксиди, знаходячись в глазурі, піддаються стисненню при нагріванні. Оксиди, що мають негативні парціальні коефіцієнти, здатні особливо сильно знижувати розширення глазурі, у складі якої вони містяться.

Підставляючи в загальну формулу довідкові і розрахункові парціальні коефіцієнти для кожного оксиду, набувають кінцевого значення ТКЛР:

$$\alpha \cdot 10^7 = \frac{54,46 \cdot 38 + 6,66 \cdot (-30) + 14,48 \cdot (-9,9) + 7,47 \cdot 130 + 2,97 \cdot 60}{100} +$$
$$+ \frac{3,39 \cdot 50 + 1,24 \cdot 200 + 3,43 \cdot 465 + 5,90 \cdot 395}{100} = \frac{2070 - 200 - 143 + 971}{100} +$$
$$+ \frac{178 + 170 + 248 + 1595 + 2331}{100} = \frac{7220}{100} = 72,20.$$

Кінцевий температурний коефіцієнт лінійного розширення рівний $72,20 \cdot 10^{-7}$град$^{-1}$. Якщо в розрахунку використовувати молярні долі

оксидів, то ТКЛР можна визначити таким чином:

$$\alpha \cdot 10^7 = \frac{0,8188 \cdot 38 + 0,1001 \cdot (-30) + 0,2177 \cdot (-9,9) + 0,1123 \cdot 130}{1,5031} +$$

$$+ \frac{0,0447 \cdot 60 + 0,0510 \cdot 50 + 0,0186 \cdot 200 + 0,0515 \cdot 465 + 0,0887 \cdot 395}{1,5031} =$$

$$= \frac{108,50}{1,5031} = 72,20.$$

3.2. Розрахунок коефіцієнта кислотності

Коефіцієнтом кислотності КК глазурі називається кисневе відношення еквівалентів кислоти до еквівалентів основ. Основні і кислотні оксиди приведені в табл.4.

Коефіцієнт кислотності КК розраховують по формулі:

$$\text{КК} = \frac{a_3 SiO_2 + 3a_4 B_2O_3 + ...}{aR_2O + a_1 RO + 3a_2 R_2O_3 + ...},$$

де a, a_1, a_2, a_3, a_4 – вміст оксидів в глазурі, молей.

Таблиця 4

Основні та кислотні оксиди
для розрахунку коефіцієнта кислотності глазурі

Кислотний оксид	Основні оксиди		
	R_2O	RO	R_2O_3
SiO_2	LiO_2	CaO	Al_2O_3
TiO_2	Na_2O	MgO	Fe_2O_3
B_2O_3	K_2O	PbO	Mn_2O_3
Al_2O_3	Cu_2O	ZnO	Cr_2O_3
P_2O_5	-	BaO	Bi_2O_3
Sb_2O_3	-	MnO	-
Sb_2O_5	-	FeO	-
-	-	CdO	-
-	-	NiO	-

Приклад. Даний склад глазурі, мас. %: $Si0_2$ – 47,7; $A1_20_3$ – 7,48; B_20_3 – 15,6; PbO – 12,42; CaO – 6,86; MgO – 2,22; K_20 – 4,48; Na_20 – 3,24, що

відповідає наступній молекулярній формулі, молярних доль: $Si0_2$ – 2,3845; $A1_20_3$ – 0,2205; B_20_3 – 0,6732; PbO – 0,1670; CaO – 0,3674; MgO – 0,1655; K_20 – 0,1430; Na_20 – 0,1571. Коефіцієнт кислотності буде рівний:

$$КК = \frac{2,3845 + 3 \cdot 0,6732}{0,1571 + 0,1430 + 0,1655 + 0,3674 + 3 \cdot 0,2205} = \frac{4,4041}{1,4945} = 2,95.$$

4. Розрахунок кількісних показників пористості і зернового складу керамічних мас і матеріалів

4.1. Розрахунок дійсної, відкритої і закритої пористості

Пористість є одним з головних показників кераміки, від якого залежать такі експлуатаційні характеристики, як механічна міцність, хімічна стійкість, водопоглинання, морозостійкість, проникність і ін.

Важливе значення має вигляд і конфігурація пор. Пори бувають закритими і відкритими, останні представлені тупиковими і каналоутворюючими. Експериментальні методи визначення пористості кераміки надзвичайно складні, проте дають якнайповнішу характеристику за видами і розподілі пор за розмірами.

Розрахунковим шляхом можна оцінити різні види пористості (істинну, відкриту і закриту), виходячи з показників властивостей, які легко визначити в лабораторних умовах (уявної густини і дійсної, водопоглинання).

Приклад. Відомі значення густини і водопоглинання фасадної кераміки. Дійсна густина $\rho_{іст}$ (без врахування пор) – 2520 кг/м^3, густина середня $\rho_{каж}$ (з урахуванням пор) – 1920 кг/м^3, водопоглинання при кип'ячені у воді (В) – 8,5%. Слід визначити відносну густину, дійсну, відкриту і закриту пористість.

Необхідні показники знаходимо з наступних виразів:

- відносна густина

$$\rho_{отн} = \frac{\rho_{каж}}{\rho_{ист}} \cdot 100\% = \frac{1920}{2520} \cdot 100\% = 76,2\%;$$

- істинна (загальна) пористість

$$П_и = \left(1 - \frac{\rho_{каж}}{\rho_{ист}}\right) \cdot 100\% = 23,8\%;$$

- відкрита (уявна) пористість

$$П_о = \frac{В \cdot \rho_{каж}}{\rho_ж} = 8,5 \cdot \frac{1920}{1000} = 16,3\%,$$

де $\rho_ж$ – щільність рідини (води);

- закрита пористість

$$П_з = П_и - П_о = 23,8 - 16,3 = 7,5\%.$$

4.2. Розрахунок середнього розміру частинок і питомої поверхні керамічних мас

Гранулометричний (зерновий) склад початкових матеріалів і керамічних мас має велике значення у виробництві керамічних матеріалів і виробів, оскільки робить значний вплив на технологічні процеси (подрібнення, змішування, формування, сушку і спікання напівфабрикатів), а також на властивості готових виробів.

Основними характеристиками зернового складу є:

1) фракція – сукупність частинок, розміри яких знаходяться в строго заданих межах: $x_1 \le x_i \; x_2$ (фракція $x_1 - x_2$);

2) середній розмір частинок $d_{ср}$;

3) максимальний розмір частинок d_{max} (розмір частинок вимірюється в міліметрах, мікрометрах);

4) питома поверхня S, см^2/г, м^2/кг, – сумарна поверхня всіх частинок, що доводиться на одиницю маси;

5) вміст частинок заданого розміру, а також більше або менше заданого розміру (вимірюється у відсотках).

Зерновий склад визначається за допомогою ситового аналізу (для порошків з розміром частинок більше 0,1 мм) і методом седиментації за швидкістю осадження частинок в рідкому середовищі (для дисперсних систем з розміром частинок менше 0,063 мм).

Знаючи фракційний склад матеріалу (маси), визначений експериментально або отриманий з довідкової літератури, можна розрахувати середній розмір частинок і середню питому поверхню дисперсної системи.

Приклад. Зерновий склад шамота для маси напівсухого пресування вогнетривких виробів характеризується вмістом наступних фракцій: 0-1 мм – 15%; 1 – 2 мм – 35%; 2 – 3 мм – 40%; 3 – 4 мм – 10%. Розрахувати середній розмір зерен і питому поверхню порошку шамоту.

Спочатку слід визначити середній розмір частинок для кожної фракції. Він знаходиться як середнє арифметичне мінімального і максимального розмірів частинок даної фракції:

$$d_1 = \frac{0+1}{2} = 0{,}5 \text{ мм}; \quad d_2 = \frac{1+2}{2} = 1{,}5 \text{ мм};$$
$$d_3 = \frac{2+3}{2} = 2{,}5 \text{ мм}; \quad d_4 = \frac{3+4}{2} = 3{,}5 \text{ мм}.$$

Середній розмір частинок знаходиться за формулою:

$$d_{\text{ср}} = \frac{\sum d_i \cdot a_i}{100},$$

де d_i – середній розмір частинок окремої фракції, мм; a_i – вміст даної фракції, %.

$$d_{\text{ср}} = \frac{0{,}5 \cdot 15 + 1{,}5 \cdot 35 + 2{,}5 \cdot 40 + 3{,}5 \cdot 10}{100} = 1{,}95 \text{ мм}.$$

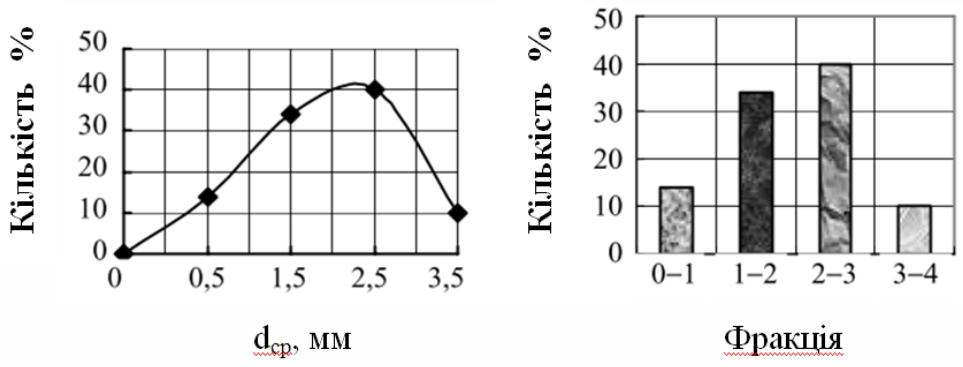
Середня питома поверхня порошку розраховується за формулою:

$$S = \frac{6}{\rho \cdot d_{\text{ср}}},$$

де S – питома поверхня порошку, см^2/г (м^2/кг); ρ – густина мінеральних частинок, г/см^3 (для даного прикладу ρ = 2,56 г/см^3); $d_{ср}$ – середній розмір частинок, см.

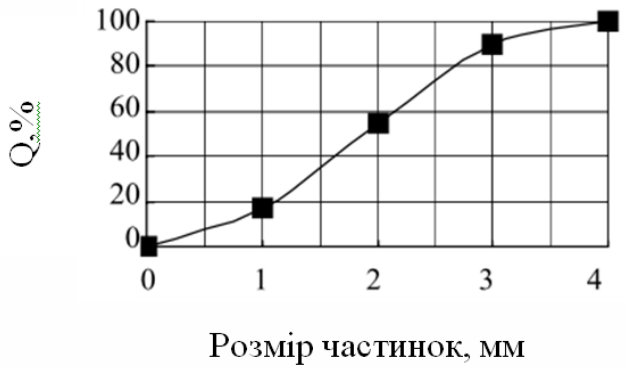
$$S = \frac{6}{2{,}56 \cdot 1{,}95 \cdot 10^{-1}} = 12{,}02 \text{ см}^2/\text{г}.$$

Даний зерновий склад порошку може бути представлений графічно у вигляді диференціальної (рис.1) і інтегральної (рис.2) кривих.



а б

Рис.1. Диференціальна крива (а) і гістограма (б) зернового складу



Q – сумарний вміст частинок менше заданого розміру

$Q_1 = a_1 = 15$;

$Q_2 = a_1 + a_2$;

$Q_3 = a_1 + a_2 + a_3$;

$Q_i = a_1 + a_2 + \ldots + a_i$;

Рис.2. Інтегральна крива зернового складу

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Химическая технология керамики: учебник / под ред. И.Я.Гузмана. – М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2003. – 493 с.
2. Августиник А.И. Керамика: учебник / А.И.Августиник. – Л: Стройиздат, 1975. – 591 с.
3. Крупа А.А. Химическая технология керамических материалов: учебник/А.А. Крупа, В. С. Городов. – Киев:Вища школа, 1990. – 398 с.

Навчально-методичне видання

ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВЕЛЬНОЇ КЕРАМІКИ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт для студентів спеціалізації 192.04
«Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»

Укладач: **МАЙСТРЕНКО** Алла Анатоліївна