

УДК 622.776

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-44>

МІНІМАЛЬНА МАСА ПРОБИ ПІД ЧАС ПОКУСКОВОГО ВИПРОБУВАННЯ РУДНОГО МАСИВУ

Младецький Ігор Костянтинович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри гірничої справи

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

ORCID ID: 0000-0002-6159-6819

Левченко Костянтин Анатолійович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри гірничої справи

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

ORCID ID: 0009-0005-6490-8805

Сахно Світлана Володимирівна,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри гірничої справи

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

ORCID ID: 0000-0003-3917-9143

Чеберячко Іван Михайлович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри гірничої справи

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

ORCID ID: 0000-0002-6193-5729

Суздаль Володимир Олександрович,

студент групи 1843KK-24-1п

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Метою роботи є визначення мінімальної маси проби під час випробування кускового матеріалу. Відомо, що чим більша маса проби, тим більша достовірність одержуваної інформації. Водночас чим більша маса проби, тим більші непродуктивні витрати на підготовку аналітичної проби. Таким чином, питання мінімізації проби тягне за собою мінімізацію витрат на випробування і контроль технологічних показників збагачувальних процесів. Однак маса проби повинна відбиратися з урахуванням розкриття цінного компонента, яке залежить від крупності частинок, тобто кожного класу має бути достатньо для визначення якісних показників у ньому.

У роботі наведено алгоритми визначення функції розподілу зростків за відомого гранулометричного складу продукту та опробування масиву руди відбором окремих кусків із метою формування представницької проби, для чого необхідно мати структурно-текстурну характеристику руди, що підлягає опробуванню, а саме: потужність рудних та нерудних прошарків та вміст у них корисного мінералу. Показано межі можливої зміни вмісту корисної копалини в окремому куску залежно від його розміру.

Наукова новизна результатів дослідження полягає у встановленні чинників, які впливають на кількість частинок, що відбирається з кожного вузького класу крупності.

Практична значимість полягає у розробленні методики визначення загального об'єму проби, а отже, її маси під час покускового опробування руди залежно від заданої точності проведення робіт. Застосування отриманих результатів може бути корисним для розроблення нових методів оптимізації процесів кускового опробування масивів руд, що базуються на аналізі їхніх структурних характеристик та точності відбору проб.

Ключові слова: випробування, маса проби, текстурно-структурні ознаки руди, точність випробування, клас крупності, кількість частинок.

Mladetskyi Ihor, Levchenko Kostiantyn, Sakhno Svitlana, Cheberiachko Ivan, Suzdal Volodymyr.
Determination of the specimen's minimum weight during the ore mass test

The purpose of the work is to determine the specimen's minimum weight during the test of lump material. It is known that the larger the specimen weight, the greater the reliability of the obtained information. At the same time, the larger the specimen weight, the greater the unproductive costs for preparing an analytical specimen. Thus, the issue of specimen's size minimization entails minimizing the costs of testing and control of technological indicators of mineral processing. However, the specimen weight should be selected taking into account the disclosure of a valuable mineral, which depends on the particle size, i.e. each class should be sufficient to determine the quality indicators in it.

The paper presents algorithms for determining the function of the distribution of intergrowths with a known granulometric composition of the product and testing the ore mass by selecting individual pieces in order to form a representative specimen. For this, it is necessary to have a structural and textural characteristic of the tested ore, namely: the thickness of ore and non-ore layers and the content of useful minerals in them. The limits of possible changes in the mineral content in a single specimen depending on its size are found.

The scientific novelty of the research results is the establishment of the factors that affect the amount of particles selected from each size class.

The practical significance is the development of a method of determining the total specimen volume, and therefore its weight, during piecewise sampling of ore depending on the specified accuracy. The implementation of the obtained results may be useful for developing new methods for optimizing the processes of piecewise sampling of ore mass, based on the analysis of their structural characteristics and sampling accuracy.

Keywords: testing, specimen weight, textural and structural features of ore, test accuracy, size class, amount of particles.

Вступ. Актуальність будь-якої роботи визначається можливістю зниження витрат на її виконання, у нашому випадку питання стоїть про мінімальну масу проби. Відомо, що чим більша маса проби, тим більша достовірність одержуваної інформації [1–3]. Водночас чим більша маса проби, тим більші непродуктивні витрати на підготовку аналітичної проби. Таким чином, питання мінімізації проби тягне за собою мінімізацію витрат на випробування і контроль технологічних показників збагачувальних процесів. Оскільки нами поставлено завдання вибору маси проби з урахуванням розкриття цінного компонента, а розкриття залежить від крупності частинок, то кожного класу має бути достатньо для визначення якісних показників у ньому. У підсумку маса проби має істотно збільшуватися, звідси випливає, що розв'язання поставленого

завдання має знизити витрати на приготування аналітичних проб.

Покускове випробування проводиться шляхом відбору окремих кусків (частинок) корисної копалини підряд із масиву. Якщо потрібна кількість кусків значна і становить певний об'єм, то, природно, необхідно розробити правила відбору, наприклад лопатою, у деякий стандартний об'єм – відро. Розглянемо, яким чином слід відбирати куски масиву з метою формування представницької проби.

Корисна копалина, наприклад магнетитові кварцити, мають смугасту текстуру і після четвертої стадії дроблення мають деяке розкриття. У результаті серед відібраних кусків можуть опинитися такі, що мають уміст цінного мінералу більше, ніж у початковому продукті $\alpha > \alpha_n$ (багаті зростки, позначимо їх як P_{P3}), і ті, що мають уміст цінного мінералу менше, ніж у початковому

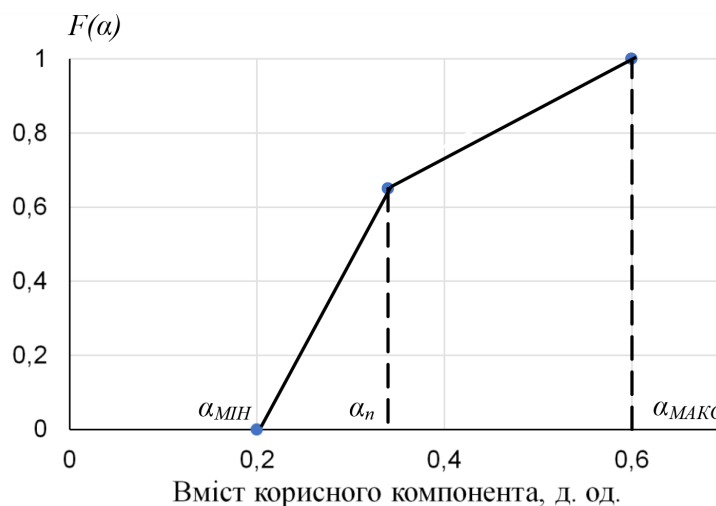


Рис. 1. Функція розподілу зростків

продукті $\alpha < \alpha_n$ (бідні зростки – P_{H3}). Інтегральну функцію розподілу зростків у початковому продукті наведено на рис. 1.

У дробленому матеріалі вельми незначна кількість частинок класу крупності d менших розмірів вкраплення d_{BK} ($d < d_{BK}$), і в деяких частинках можуть бути відкриті зерна, у яких $\alpha = 0$, або $\alpha = 1$. Але, з огляду на незначність цього класу крупності, можна вважати, що крупні зростки (частинки) обмежені максимальним ($\alpha_{\max}$) та мінімальним ($\alpha_{\min}$) умістом цінного мінералу $\alpha_{\min} < \alpha < \alpha_{\max}$, що зумовлено вмістом цінного мінералу в багатих і бідних прошарках текстури руди. Таким чином, функція фракційного складу має вигляд, як показано на рис. 1.

Залежно від класу крупності ця функція видозмінюється: що менші розміри частинок, то більше значення приймає $\alpha_{\max}$ та менше – $\alpha_{\min}$. Тобто за умови, коли розмір частинок $d \rightarrow \infty$, $\alpha_{\max} \rightarrow \alpha_{\min} \rightarrow \alpha_n$. За умови, коли $d \rightarrow 0$, $\alpha_{\max} \rightarrow 1$, а $\alpha_{\min} \rightarrow 0$.

Розглянемо вплив на масу проби текстурних ознак руди.

Наприклад, залізну руду характеризують: рудні прошарки, малорудні та нерудні. Кожен прошарок чисельно характеризується його розміром (товщиною), тобто L_P , L_{MP} , L_H ; у яких міститься рудний мінерал у кількості α_P , α_{MP} , α_H . Середній уміст мінералу в руді становитиме:

$$\alpha = \frac{\alpha_P \cdot L_P + \alpha_{MP} \cdot L_{MP} + \alpha_H \cdot L_H}{L_P + L_{MP} + L_H}.$$

Коли руда дробиться, то в кусках зосереджується різна кількість усіх прошарків, тож уміст цінного мінералу в них теоретично різний. Зрештою, існують частинки такого розміру, понад який якісні характеристики рудних кусків будуть практично однаковими. При цьому мінімальний уміст корисного компоненту в кусках буде тоді, коли крім набору всіх прошарків буде ще один нерудний, а максимальний уміст – коли міститься ще один рудний прошарок [4].

Відбір кусків із масиву – це послідовність випадкових подій. У кожному з випробувань з імовірністю P_{P3} відбирають багатий зросток, а з імовірністю P_{H3} – бідний, оскільки

$$P_{P3} + P_{H3} = 1, \quad (1)$$

то цей процес підпорядковується закону Бернуллі. Необхідна кількість випробування n (кількість кусків) може бути визначена за формулою Бернуллі:

$$P_{nm} = C_n^m \cdot P_{P3}^m \cdot P_{H3}^{n-m}, \quad (2)$$

де C_n^m – кількість сполучень із n по m ;

m – бажана кількість сприятливих результатів,
 n – загальна кількість випробувань.

Але оскільки:

$$m = n \cdot P_{P3}, \quad \text{та} \quad m + (n - m) = n,$$

то

$$P_{P3} = C_n^{n \cdot P_{P3}} \cdot P_{P3}^{n \cdot P_{P3}} \cdot (1 - P_{P3})^{n(1 - P_{P3})}. \quad (3)$$

У результаті здійснюється пошук загальної кількості випробувань, при цьому функція n буде спадаючою від 1 (за $n = 0$; $P = 1$), тому що показники ступенів необхідно буде округляти до найближчого цілого значення.

Очікувана кількість багатих зростків становитиме $P_{P3} = 1 - \alpha_n$. Тому, задавшись похибкою визначення P_{P3}

$$\varepsilon = P_{P3i} - P_{(P3(i+1))}$$

в області очікуваного значення P_{P3} і за надійної зміни функції, приймаємо значення n .

Однак достовірної оцінки якості руди не буде знайдено, оскільки вміст цінного мінералу в цих частинках буде різний та невідома дисперсія вмісту цінного мінералу в них.

У багатій фракції знаходитимуться частинки руди, утворені з багатих прошарків, а в бідній – ті частинки, що утворені з нерудних і малорудних прошарків. Таким чином, змішані та нерудні прошарки об'єднані в малорудні прошарки:

$$I_{MP} = I_P + I_H.$$

Із метою встановлення зв'язку крупності частинок і можливого в них вмісту магнетиту приймемо до уваги, що у міру збільшення розміру кусків у них може бути кілька рудних або нерудних прошарків. Із цієї причини частинки розміром $d > I_P$ та $d > I_H$ уже не можуть належати до відкритих фракцій, вони обов'язково є зростками.

Коли розмір куска $d = I_P$, то максимально можливий уміст магнетиту в ньому α_P .

Коли розмір куска $d = I_H$, тоді мініально можливий уміст магнетиту в ньому становить α_H .

Коли розмір куска $I_P < d < I_H$, то максимально можливий уміст магнетиту в ньому буде:

$$\alpha_{MAK1} = \frac{I_P}{I_P + I_H} \cdot \alpha_P. \quad (4)$$

Збільшення розміру куска призводить до того, що кусок може містити два рудні прошарки та один нерудний, тоді

$$\alpha_{MAK2} = \frac{2 \cdot I_P \cdot \alpha_P}{2 \cdot I_P + I_H}. \quad (5)$$

Аналогічні подальші міркування показали, що багаті частинки руди в загальному випадку містять на один рудний прошарок більше порівняно з бідними (максимально можливий уміст цінного мінералу). А бідні частинки містять на один

нерудний прошарок більше порівняно з багатими (мінімально можливий уміст цінного мінералу).

Таким чином, за зміни розміру частинок спостерігається залежність граничних значень вмісту в них магнетиту. Таких граничних показників два:

- мінімально можливе:

$$\alpha_{\min} = \frac{n \cdot l_p \cdot \alpha_p + (n+1) \cdot l_H \cdot \alpha_H}{n \cdot l_p + (n+1) \cdot l_H}; \quad (6)$$

- максимально можливе:

$$\alpha_{\max} = \frac{n \cdot l_H \cdot \alpha_H + (n+1) \cdot l_p \cdot \alpha_p}{n \cdot l_H + (n+1) \cdot l_p}. \quad (7)$$

Різниця між цими двома величинами зменшується у міру збільшення розміру частинок. Якщо розміри частинок виразити у кількості прошарків, то чим більше прошарків (величина n), тим більший розмір куска. Моделювання за допомогою виразів (6) і (7) за умови, що $l_p = 8$ мм, $l_H = 13$ мм, $\alpha_p = 0,6$, $\alpha_H = 0,2$, дало залежність, наведену в табл. 1.

Таблиця 1

Граничні значення вмісту магнетиту в частинках залежно від їхнього розміру

$n = \frac{d}{l}$	0	1	2	3	10	∞
$\alpha_{\min}$	0,2	0,294	0,316	0,326	0,343	0,352
$\alpha_{\max}$	0,6	0,421	0,392	0,380	0,361	0,352

Як видно з табл. 1, після $n = 3$ залежність різко знижує чутливість, і вже частинки, у яких кількість прошарків відповідає 10 ($n = 10$), а їхній розмір становить $d = 110$ мм, можуть мати максимальну відмінність у вмісті магнетиту менше двох відсотків.

На рис. 3 графічно наведено максимальні зміни корисного компонента залежно від розміру частинок.

Для визначення розміру частинок, у яких оцінка вмісту магнетиту буде не гіршою за задану похибку, було складено рівняння:

$$\alpha_{\max} - \alpha_{\min} = \varepsilon, \quad (8)$$

де ε – задана точність оцінки вмісту магнетиту в частинці руди.

Тотожні перетворення цього рівняння з урахуванням (6), (7) відносно n дало квадратне рівняння:

$$a \cdot n^2 + b \cdot n + c = 0, \quad (9)$$

де

$$a = \varepsilon \cdot (l_p^2 + l_H^2 + 2 \cdot l_p \cdot l_H),$$

$$b = 2 \cdot l_p \cdot l_H \cdot (\varepsilon - (\alpha_p - \alpha_H)),$$

$$c = \varepsilon \cdot (l_p^2 + l_H^2 + 2 \cdot l_p \cdot l_H) - l_p \cdot l_H \cdot (\alpha_p - \alpha_H).$$

Таким чином, у частинках руди, розмір яких менший за потужність нерудного і рудного прошарків, максимально можливий уміст магнетиту може бути таким, що міститься у цих прошарках: $\alpha_{\max} = 0,6$ (назвемо їх відкриті рудні зерна – P_p) та $\alpha_{\min} = 0,2$ (відкриті нерудні зерна – P_H). У міру збільшення розміру кусків ці значення зменшуються і прагнуть до одного значення – вмісту магнетиту в моноліті. Частинки, у яких уміст цінного мінералу лежить у межах $\alpha_{\min} < \alpha < \alpha_p$, назвемо бідними зростками (P_{H3}), а у яких $\alpha_n < \alpha < \alpha_{\max}$ – багатими зростками (P_{p3}).

Загальна кількість частинок кожної з чотирьох фракцій (рудних, нерудних, багатих та бідних зростків) за всіма класами крупності руди визначається шляхом підсумовування приростів [4] і становитиме:

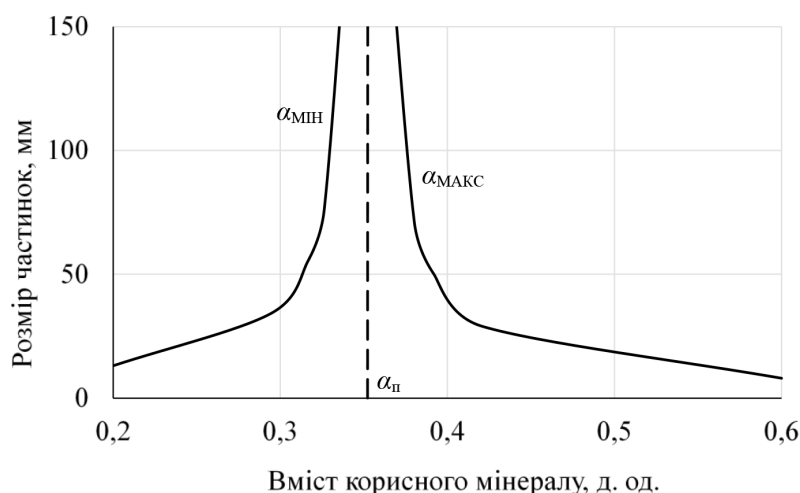


Рис. 2. Залежності зміни вмісту цінного компонента α у класах крупності d подрібненого продукту

– відкритих кусків із рудного прошарку (рудних зерен):

$$P_P = \frac{I_P}{I_P + I_H} \cdot \sum_{i=1}^k \left(1 - \frac{d_i}{I_P}\right) \cdot \Delta F(d_i); \quad (10)$$

– відкритих кусків із нерудного прошарку (нерудних зерен):

$$P_H = \frac{I_H}{I_P + I_H} \cdot \sum_{i=1}^k \left(1 - \frac{d_i}{I_H}\right) \cdot \Delta F(d_i); \quad (11)$$

– багатих (рудних зростків):

$$P_{PЗ} = \frac{I_P}{I_P + I_H} \cdot \left(\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{I_P} \cdot \Delta F(d_i) + (F(3I_P) - F(I_P)) \right) + (1 - F(3I_P)); \quad (12)$$

– бідних зростків:

$$P_{HЗ} = \frac{I_H}{I_P + I_H} \cdot \left(\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{I_H} \cdot \Delta F(d_i) + (F(3I_H) - F(I_H)) \right); \quad (13)$$

де $\Delta F(d)$ – приріст функції розподілу кусків руди за крупністю.

Зазвичай гранулометрична характеристика продуктів дрібного дроблення має вигляд, як показано на рис. 3, при цьому середньозважений розмір частинок становить 9,5...10,5 мм [5].

Відповідно до цієї характеристики, за виразами 10–13 розраховано кількість фракцій, які становлять: $P_P = 7,0\%$, $P_H = 18,5\%$, $P_{PЗ} = 30,0\%$, $P_{HЗ} = 44,5\%$.

За цими показниками побудовано функцію розподілу частинок руди за вмістом у них магнетиту $F(\alpha)$ – крива збагачуваності, вигляд якої наведено на рис. 4.

Як витікає з рис. 2, за збільшення крупності матеріалу вміст цінного компонента в ньому прагне до єдиного значення – α_n .

Окрім того, відстань між максимальним і мінімальним значеннями визначає дисперсію вмісту цінного мінералу в частинках:

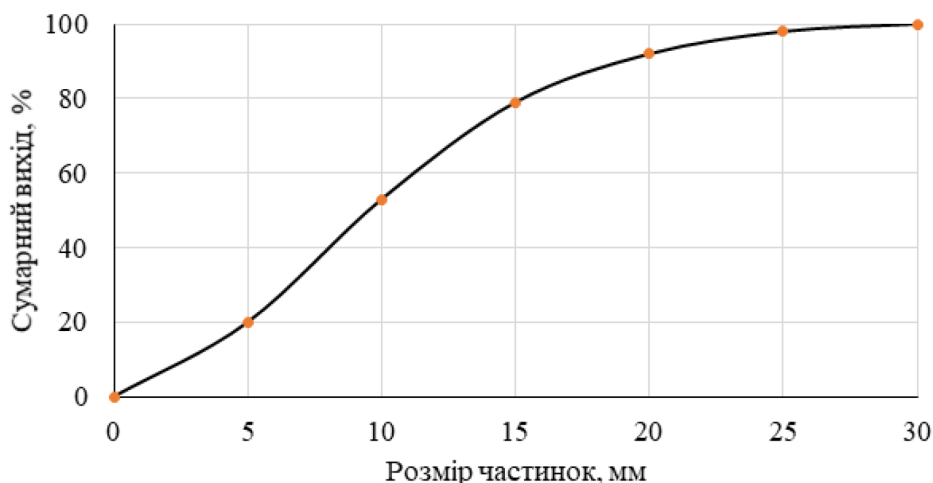


Рис. 3. Гранулометрична характеристика продуктів дрібного дроблення

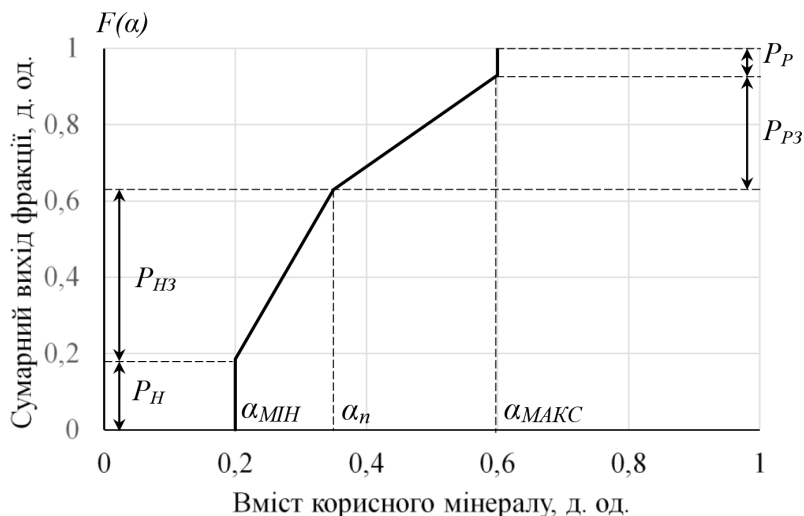


Рис. 4. Інтегральна функція розподілу частинок за вмістом у них магнетиту

Таблиця 2

Розрахунок маси проби

d , мм	5	10	15	20	25	30
$\alpha_{\max}$	0,6	0,41	0,394	0,385	0,379	0,375
$\alpha_{\min}$	0,2	0,2	0,299	0,309	0,315	0,320
$\Delta\alpha$	0,400	0,210	0,095	0,076	0,064	0,055
σ_{α}	0,1	0,0526	0,0238	0,0191	0,016	0,0138
n	1600,0	441,9	90,3	58,5	41,0	30,3
nd^3	200,0	441,9	304,7	467,8	640,3	818,7

$$\sigma_{\alpha} = \frac{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}}{4}.$$

Відомо, що кількість частинок, які відбирають у пробу, залежить від відношення дисперсії вмісту цінного мінералу в класі крупності до необхідної дисперсії вимірювання – σ_3 [6; 7], тобто:

$$n = \frac{\sigma_{\alpha}^2}{\sigma_3^2}.$$

Для середньої крупності подрібненої руди 10 мм дисперсія вмісту корисного компоненту становитиме:

$$\sigma_{\alpha} = \frac{0,41 - 0,2}{4} = 0,0525.$$

І якщо необхідна точність 0,05, задана дисперсія становитиме:

$$\sigma_3 = \frac{0,05}{4} = 0,012.$$

Тоді кількість кусків, із яких буде складатися проба, становить:

$$n = \frac{\sigma_{\alpha}^2}{\sigma_3^2} = \frac{0,0525^2}{0,012^2} \approx 19 \text{ частинок.}$$

Для визначення загального об'єму проби необхідно визначити об'єм для кожного класу крупності.

Припустимо, для частинок розміром d_1 необхідна кількість становить n_1 штук; для d_2 необхідно n_2 штук; для $d_3 \rightarrow n_3; \dots$; для $d_n \rightarrow n_n$.

Співвідношення $\frac{n_i}{\sum n_i}$ мають бути не меншими за вміст відповідного класу в масиві,

тобто $\frac{n_i}{\sum n_i} \geq \gamma_i$. Це умова формування кількості частинок із заданого класу крупності.

Об'єм проби визначається відповідно до виразу:

$$W_T = \sum (d_i^3 \cdot n_i).$$

Маса проби, що виражена через об'єм, становитиме $P_T = \delta_T \cdot W_T$. Визначимо масу проби за умови, що необхідна точність відбору становить $\sigma_3 = 0,0025$.

Розрахунки зведемо в табл. 2.

Сума останнього рядка в табл. 2 – об'єм проби, який становить 2873 см³, або приблизно 2,9 дм³. За щільності руди 3500 кг/м³ маємо масу проби близько 10,1 кг, що відповідає пробі, яка відбирається для рудорозбирання.

Висновки. Для теоретичного визначення мінімальної маси проби під час покускового опробування необхідне попереднє визначення текстурно-структурних ознак масиву руди, що підлягає дослідженню.

Запропоновано визначення мінімальної маси кускового матеріалу з урахуванням можливого розкриття цінного мінералу за умови, що цей компонент зосереджується у вигляді рудних і нерудних прошарків.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Синтез технологій збагачення корисних копалин / І. К. Младецький та ін. Дніпро : Журфонд, 2023. 137 с.
2. Левченко К. А., Пілов П. І., Младецький І. К. Методика аналітичного розрахунку технологічних показників збагачення корисних копалин. *Збагачення корисних копалин*. 2014. Вип. 57(98). С. 66–74.
3. Младецький І. К., Пілов П. І., Левченко К. А., Куваєв Я. Г. Випробування і контроль процесів збагачення корисних копалин : навчальний посібник. Дніпро : Журфонд, 2019. 204 с.
4. Младецький І. К., Мостыка Ю. С. Аналитическое определение показателей раскрытия руд : монография. Днепропетровск : Системные технологии, 1999. 106 с.
5. Младецький І. К., Пілов П. І. Технологічні розрахунки показників збагачення корисних копалин : навчальний посібник. Дніпропетровськ : НГУ, 2005. 156 с.
6. Младецький І. К., Пілов П. І., Лысенко А. А., Левченко К. А., Попова О. Г. Требуемая точность контроля параметров технологии обогащения полезных ископаемых. *Збагачення корисних копалин*. 2013. Вип. 53(94). С. 200–205.

7. Младецкий И. К., Куваев Я. Г., Левченко К. А., Лысенко А. А., Павленко А. А. Минимальные массы проб для анализа показателей качества сырья. *Збагачення корисних копалин*. 2013. Вип. 52(93). С. 135–145.

REFERENCES:

1. Mladetskyi, I. K., Levchenko, K. A., Dreshpak, O. S., Berezniak, O. O. & Medianyuk, V. Yu. (2023) Syntez tekhnolohii zbahachennia korysnykh kopalyn [Synthesis of mineral processing technologies], Dnipro : Zhurfond. [in Ukrainian].
2. Levchenko, K. A., Mladetskyi, I. K. & Pilov, P. I. (2014) Metodyka analitychnoho rozrakhunku tekhnolohichnykh pokaznykiv zbahachennia korysnykh kopalyn [Methodology for analytical calculation of technological indicators of mineral processing], *Zbahachennia korysnykh kopalyn*, 57(98), 66–74. [in Ukrainian].
3. Mladetskyi, I. K., Pylov, P. I., Levchenko, K. A., & Kuvaiev, Ya. H. (2019) Vyprobuvannia i kontrol protsesiv zbahachennia korysnykh kopalyn [Testing and control of mineral processing processes], Dnipro : Zhurfond. [in Ukrainian].
4. Mladetskyi, I. K., & Mostyka, Yu. S. (1999) Analytycheskoe opredelenie pokazatelei raskrytyia rud [Analytical determination of ore disclosure indicators], Dnepropetrovsk: Systemnye tekhnolohyy. [in Ukrainian].
5. Mladetskyi, I. K., & Pilov, P. I. (2005) Tekhnolohichni rozrakhunky pokaznykiv zbahachennia korysnykh kopalyn [Technological calculations of mineral processing indicators], D. : NHU. [in Ukrainian].
6. Mladetskyi, I. K., Pilov, P. I., Lysenko, A. O., Levchenko, K. A., & Popova, O. H. (2013) Trebuemaia tochnost kontroliia parametrov tekhnolohyy obohashchennia poleznykh yskopaemykh [Required accuracy of control of parameters of mineral processing technology parameters], *Zbahachennia korysnykh kopalyn*, 53(94). 200–205. [in Ukrainian].
7. Mladetskyi, I. K., Kuvaev, Ya. H., Levchenko, K. A., Lysenko, A. O., & Pavlenko, A. A. (2013) Mynymalnye massy prob dlia analiza pokazatelei kachestva syria [Minimum sample weights for analyzing raw material quality indicators], *Zbahachennia korysnykh kopalyn*, 52(93), 135–145. [in Ukrainian].