

УДК 622.776

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-17>

## ВПЛИВ УЗГОДЖЕНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИРОВИНИ ТА СЕПАРАТОРА ПРИ СТВОРЕННІ БЛОКІВ РОЗДІЛЕННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

**Младецький Ігор Костянтинович,**

доктор технічних наук,  
професор кафедри екології та охорони навколишнього середовища  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
ORCID ID: 0000-0002-6159-6819

**Левченко Костянтин Анатолійович,**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри гірничої справи  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»  
ORCID ID: 0009-0005-6490-8805

У статті наведено аналітичні дослідження щодо впливу узгодженості сепараційної характеристики кожного сепаратора, що входить до блока розділення, з характеристикою мінеральної сировини, яка є його живленням і підлягає розділенню, а саме функцією розподілу зростків. Наведено методику розрахунку кількісно-якісних показників розділення. Показано, що за використання симетричного блока розділення, який складається з декількох сепараторів, та за узгодження сепараційної характеристики кожного апарата з його характеристикою живлення неможливо отримати ефективні показники розділення за виконання бінарного розділення. Наведені сепараційні характеристики кінцевих потоків розділення та виконано їх аналіз, який показує, що перші потоки складаються практично з відкритих рудних зерен і багатих зростків для концентрату, відповідно для відходів із породних зерен і бідних зростків. Другий і наступні потоки, які отримують із переміщення проміжних продуктів, складаються в основному зі зростків. Ці потоки підвищують вміст зростків відповідно в концентраті та відходах, що призводить до зниження їхніх якісних показників. Для ефективного розділення мінеральної сировини з узгодженням характеристик необхідно виділяти мінімум три потоки, а саме: концентрат, проміжний продукт і відходи. Налаштування блока сепараторів, що мають різні сепараційні характеристики, на виділення одного продукту, багатого (концентрату) чи бідного (відходів), дозволяє підвищити ефективність розділення. Кращі результати отримують коли сепаратори мають однакові сепараційні характеристики та налаштовані на виділення одного продукту. Водночас спостерігається суттєве збільшення похідних в околицях точок перегину сепараційних кривих блока розділення порівняно з тим, якщо блок містить різні сепаратори. Відомо, що одним з істотних чинників, який впливає на формування сепараційної характеристики блока, є його структура. Наведений приклад застосування несиметричної структури блока розділення сепараторів і показано, що спільний вплив несиметрії структури блока та сепараційної характеристики сепараторів дозволяє отримати найкращі показники за бінарного розділення.

**Ключові слова:** мінеральна сировина, функція розподілу зростків, сепараційна характеристика, блок розділення.

**Mladetskyi Ihor, Levchenko Kostiantyn. The influence of consistency of the characteristics of the raw material and the separator when creating blocks for the separation of mineral raw materials**

The article provides analytical studies on the influence of the consistency of the separation characteristics of each separator included in the separation unit with the characteristics of the mineral raw material that is its feed and subject to separation, namely, the function of the distribution of growths. The method of calculating the quantitative and qualitative indicators of separation is presented. It is shown that when using a symmetrical separation unit, which consists of several separators, and when matching the separation characteristic of each device with its power supply characteristic, it is not possible to obtain effective separation indicators when performing binary separation. The separation characteristics of the final separation flows are given and their analysis is performed, which shows that the first flows consist practically of open ore grains and rich inclusions for the concentrate and, accordingly, for waste from rock grains and poor inclusions. The second and subsequent streams, which are obtained from the purification of intermediate products, consist mainly of residues. These flows increase the content of growths, respectively, in the concentrate and waste, which leads to a decrease in their quality indicators. For effective separation of mineral raw materials, when matching the characteristics, it is necessary to separate at least three streams, namely concentrate, intermediate product and waste. Setting up a block of separators with different separation characteristics to separate one rich (concentrate) or poor (waste) product allows you to increase the separation efficiency. The best results are obtained when the separators have the same separation characteristics and are configured to separate

the same product. At the same time, there is a significant increase in the derivatives in the vicinity of the inflection points of the separation curves of the separation block in comparison, if the block contains different separators. It is known that one of the significant factors affecting the formation of the separation characteristics of the block is its structure. An example of the application of the asymmetric structure of the separation block of separators is given, and it is shown that the combined effect of the asymmetry of the block structure and the separation characteristics of the separators allow obtaining the best indicators for binary separation.

**Key words:** mineral raw materials, function of distribution of growths, separation characteristic, separation block.

**Постановка завдання та стан вивченості.**

Один із напрямів отримання заданих показників розділення у процесах переробки та збагачення корисних копалин – застосування перелічених і контрольних операцій, тобто створення технологічних розділових блоків. У роботах [1; 2] наведено результати дослідження щодо вибору структури таких блоків і отримано висновок, що незалежно від виду сепараційної характеристики сепараторів завжди можна скласти структуру блока для отримання задовільної сепараційної характеристики блока розділення. Усі сепаратори, що входили до блока розділення, мали однакові характеристики.

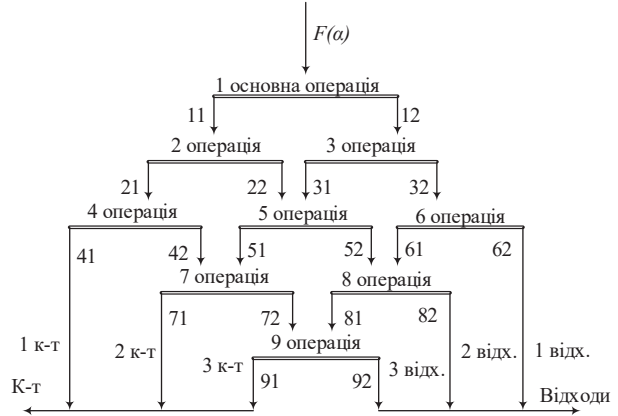
Відомо, що найкраще поєднання характеристики розділення сепаратора та підготовленої сировини полягає в тому, щоб спостерігався збіг абсцис середньої якості сировини та точки перелому сепараційної характеристики. Ефективність сепараційного процесу тим вища, чим крутіша крива сепараційної характеристики і вищі показники розкриття цінного мінералу.

**Мета роботи.** Розглянемо, яким чином дотримується критерій узгодження показників сировини та сепаратора в побудові технологічних блоків.

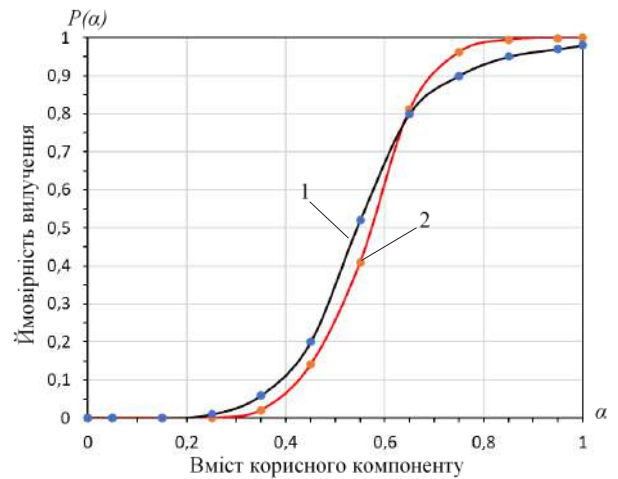
**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо технологічний блок з'єднання сепараторів, що має низку перелічених і контрольних операцій (рис. 1).

У цьому блоці використовується 9 сепараторів. Прийнемо, що функція розподілу частинок за вмістом корисного компонента  $F(\alpha)$  у початковому матеріалі має вигляд, який представлено в табл. 1, а сепараційна характеристика розділового апарата, як на рис. 2, крива 1.

Припустимо, що для виконання умови узгодженості, а саме збігу абсцис середньої якості сировини та точки перелому сепараційної характеристики, остання може вільно рухатися вправо або в ліво вздовж осі абсцис без



**Рис. 1. Технологічний блок з'єднання сепараторів**



**Рис. 2. Сепараційні характеристики 1 – одного сепаратора; 2 – схеми з'єднання сепараторів за умови узгодження характеристик**

зміни своєї форми залежно від властивості сировини.

Виконаємо таке дослідження. Функція розподілу зростків  $F(\alpha)$  у початковому матеріалі задана в табл. 1, відповідно до неї задаємося

Таблиця 1

**Функція розподілу частинок за вмістом корисного компонента**

Зміна вмісту корисного компонента, частки од.	0	0...0,1	0,1...0,2	0,2...0,3	0,3...0,4	0,4...0,5	0,5...0,6	0,6...0,7	0,7...0,8	0,8...0,9	0,9...1,0	1,0
Кількість частинок, частки од.	0,2	0,01	0,02	0,05	0,08	0,08	0,09	0,12	0,08	0,05	0,02	0,2

сепараційною характеристикою сепаратора  $P_1$ , що використовується в 1 операції. Тобто переміщенням сепараційної характеристики, що надана на рис. 1, крива 1, добиваємося її узгодженості з функцією  $F(\alpha)$ . За відомими виразами [3; 4] розраховуємо показники розділення: вміст корисного мінералу в концентраті ( $\beta_{11}$ ), відходах ( $v_{12}$ ) та функції розподілу фракцій за продуктами розділення  $F_{11}$  і  $F_{12}$ .

$$F_{11} = \sum_{i=1}^n F_i(\alpha) \cdot P_{1i}; F_{12} = \sum_{i=1}^n F_i(\alpha) \cdot (1 - P_{1i}), \quad (1)$$

$$\beta_{11} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i(\alpha) \cdot P_{1i} \cdot \alpha_i}{\sum_{i=1}^n F_i(\alpha) \cdot P_{1i}} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i(\alpha) \cdot P_{1i} \cdot \alpha_i}{F_{11}}, \quad (2)$$

$$v_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i(\alpha) \cdot (1 - P_{1i}) \cdot \alpha_i}{\sum_{i=1}^n F_i(\alpha) \cdot (1 - P_{1i})} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i(\alpha) \cdot (1 - P_{1i}) \cdot \alpha_i}{F_{12}}, \quad (3)$$

де  $i$  – відповідна фракція продукту;  $F_{11}$ ,  $F_{12}$  – функція розподілу зростків у продукті 11 та 12 відповідно;  $F(\alpha)$  – функція розподілу зростків у початковому продукті;  $P_1$  – сепараційна характеристика сепаратора, що використовується в 1 основній операції розділення;  $\alpha$  – вміст корисного компонента у відповідній фракції.

На другому етапі згідно з отриманими функціями розподілу фракцій за продуктами розділення  $F_{11}$  і  $F_{12}$  переміщуємо сепараційну характеристику й отримуємо сепараційні характеристики сепараторів, що використовуються в операціях розділення 2 і 3, відповідно  $P_2$ ,  $P_3$ . Розраховуємо показники розділення в потоках 21, 22, 31, 32 за виразами 1–3.

Обчислюємо усереднені показники сумарного потоку 22 + 31, який спрямовано на п'яту операцію.

$$F_{2231} = \sum_{i=1}^n F_i(\alpha) \cdot P_{1i} \cdot (1 - P_2) + \sum_{i=1}^n F_i(\alpha) \cdot (1 - P_{1i}) \cdot P_3,$$

де  $P_1$ ,  $P_2$  – сепараційна характеристика відповідного сепаратора;  $y_{11}$ ,  $y_{22}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{31}$  – часткові виходи відповідних продуктів.

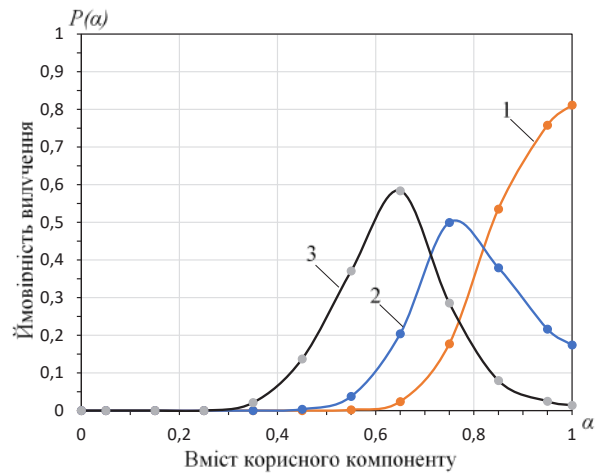
Приймаємо сепараційні характеристики сепараторів 4, 5, 6, розраховуємо показники розподілу в потоках 41, 42, 51, 52, 61, 62 за

аналогією, таким чином виконуємо дії до дев'ятої операції розділення.

На основі сепараційної характеристики кожної операції розділення розраховуємо сепараційну характеристику технологічного блока розділення, яка показана на рис. 2, крива 2.

Загальні кількісно-якісні показники розділення сепараційного блока та за основними потоками 41, 71, 91 (що становлять відповідно 1 концентрат, 2 та 3), 62, 82, 92 (1 відходи, 2 та 3), наведені в табл. 2.

Як бачимо з табл. 2, ми отримали гарні продукти за потоками 41 та 62, що відповідають 1 концентрату та 1 відходам. Останні ж потоки мають посередні значення. Поглянемо на вигляд сепараційних характеристик для кожного потоку концентратної фракції, які наведені на рис. 3, та відходів – рис. 4.



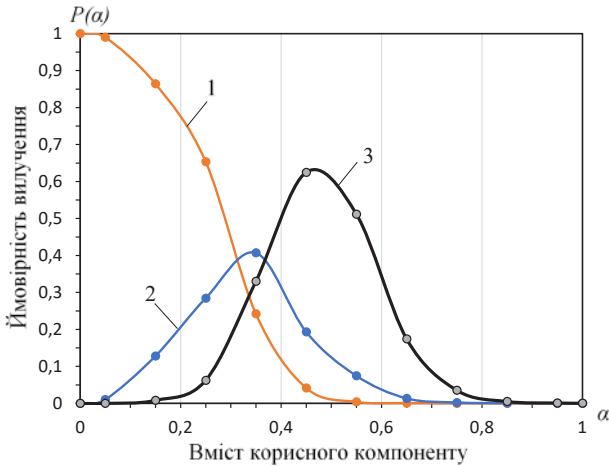
**Рис. 3. Сепараційні характеристики концентратної фракції:**  
 1 – потоку 41 (1 концентрат);  
 2 – потоку 71 (2 концентрат);  
 3 – потоку 91 (3 концентрат)

У результаті виходить, що в потік 1 концентрату вилучаються рудні зерна та багаті зростки, у потік 2 та 3 концентрату вилучаються лише зростки. Аналогічна картина

Таблиця 2

**Кількісно-якісні показники розділення за потоками**

Показники розділення	Концентратні потоки				Потоки відходів			
	1 концентрат	2 концентрат	3 концентрат	Загальний концентрат	1 відходи	2 відходи	3 відходи	Загальні відходи
Вихід, частки од.	0,222	0,126	0,146	0,494	0,283	0,073	0,15	0,506
Вміст корисного компонента, частки од.	0,957	0,815	0,637	0,826	0,07	0,37	0,493	0,239



**Рис. 4. Сепараційні характеристики потоків відходів: 1 – потоку 62 (1 відходи); 2 – потоку 82 (2 відходи); 3 – потоку 92 (3 відходи)**

спостерігається і в потоках відходів: нерудні зерна та бідні зростки вилучаються в потік 1 відходів, а в потоки 2 та 3 відходів вилучаються лише зростки. Виходить, що концентрат та відходи розубожуються зростками. Якісні показники в обох продуктах знижуються і, як наслідок, ефективного розділення не відбувається.

Отже, у технологічному блоці, де відбувається розділення на два продукти, узгодження характеристик сировини та сепараторів призводить до низькоефективного розділення. Найкращий результат буде за розділення мінімум на три продукти: 41, 62 та 42 + 22 + 31 + 61, як це показано на рис. 5.

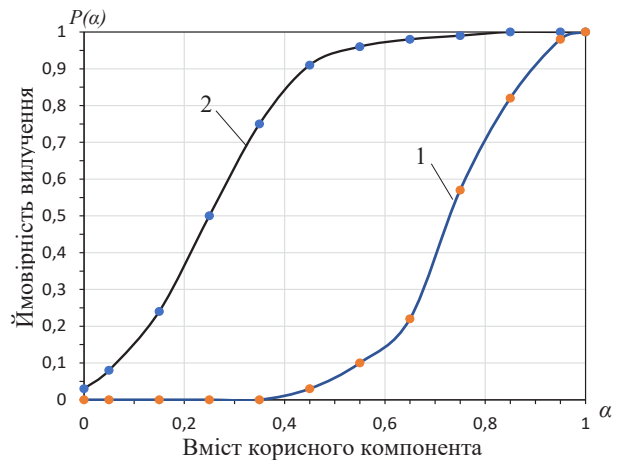


**Рис. 5. Технологічний блок з'єднання сепараторів з узгодженими характеристиками за розділення на три продукти**

Приймемо тепер сепаратори, що мають сепараційні характеристики, які налаштовані на виділення одного виду частинок: багатих чи бідних. Випробовуватимемо блок, представлений на рис. 1.

Спочатку складемо блок, у якому передбачається виділяти багатий продукт (концентрат). Сепаратори різні та мають характеристики, зміщені праворуч від точки 0,5, тобто налаштовані на виділення багатого продукту. У результаті отримано характеристику блока, яку наведено на рис. 6, крива 1.

Наступний етап – випробування блока, у якому сепаратори мають характеристики, налаштовані на виділення бідної фракції, тобто зміщені ліворуч від точки 0,5 у бік малих значень вмісту корисного компонента. У результаті отримано характеристику блока, яку наведено на рис. 6, крива 2.



**Рис. 6. Сепараційна характеристика блока, що має різні сепаратори та налаштовані на виділення: 1 – багатого продукту (концентрату); 2 – бідного продукту (відходів)**

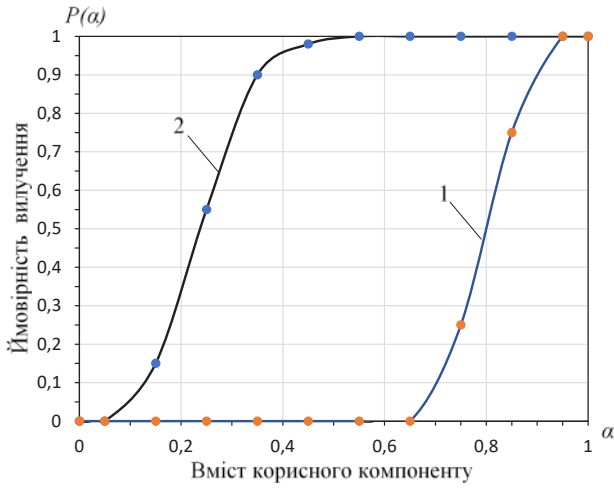
Аналіз цих досліджень показує, що зміщення сепараційних характеристик елементів технологічного блока спричиняє таке ж зміщення характеристики блока.

Виконаємо аналогічне дослідження, але всі апарати матимуть однакові сепараційні характеристики. Результати такого дослідження наведено на рис. 7. Як впливає із графіків, сепараційні характеристики блоків мають суттєві зміщення за віссю абсцис і суттєве збільшення похідних в околицях точок перегину кривих у порівнянні, якщо блок містить різні сепаратори, тобто різні сепараційні характеристики.

Отже, технологічні блоки треба формувати із сепараторів з однаковими сепараційними характеристиками.

Відомо, що одним з істотних чинників, який впливає на формування сепараційної характеристики блока, є його структура. Так, надання йому несиметричного вигляду сприяє зміщенню сепараційної характеристики. Імовірно, що

спільна дія, а саме несиметрія з'єднання сепараторів у розділовому блоці та використання відповідної сепараційної характеристики, яку зміщено в бік несиметрії блока, може посилити зміну загальної сепараційної характеристики блока.



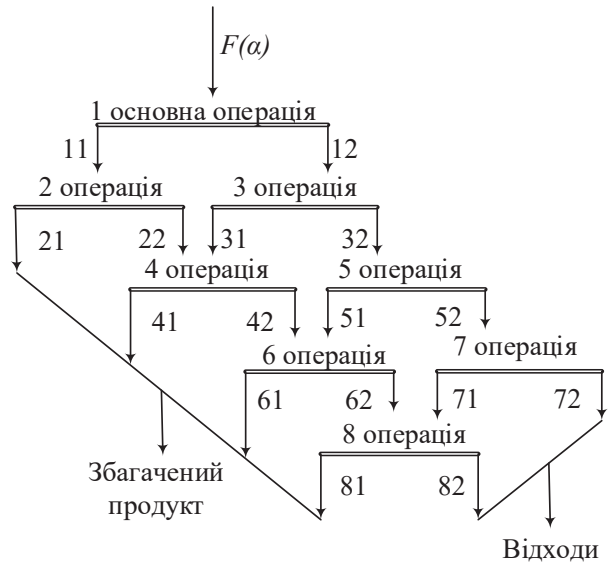
**Рис. 7. Сепараційна характеристика блока, що має однакові сепаратори та налаштований на виділення: 1 – багатого продукту (концентрату); 2 – бідного продукту (відходів)**

Прийmemo для дослідження несиметричний блок розділення (рис. 8), який налаштований на виділення збідненого продукту. Характеристики сепараторів також зміщені у бік малих значень вмісту цінного мінералу.

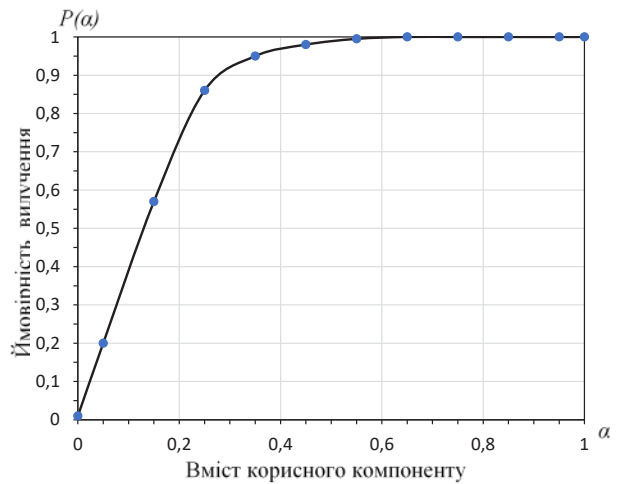
Загальна сепараційна характеристика наведеного блока показана на рис. 9. Після порівняння сепараційних характеристик, що наведені на рис. 7 (крива 2) та рис. 9, бачимо, що спільна дія несиметрії структури блока та характеристик сепараторів істотно впливає на загальну сепараційну характеристику блока з'єднання сепараторів.

**Висновки**

1. У технологічному блоці з'єднання сепараторів, який використовує розділення на два продукти, узгодження характеристик сировини та сепараторів призводить до низькоефективного розділення. Для підвищення ефективності



**Рис. 8. Несиметричний блок розділення**



**Рис. 9. Сепараційна характеристика несиметричного блока розділення, що налаштований на виділення відходів блока**

розділення вказаного блока необхідно виділяти три продукти.

2. Технологічні блоки варто формувати із сепараторів з однаковими сепараційними характеристиками.

3. Спільний вплив несиметрії структури блока та характеристик сепараторів істотно позначається на сепараційній характеристиці блока.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Ахметшина І.В, Младецький І.К. Принцип формування сепараційного блока. *Збагачення корисних копалин* : науково-технічний збірник. 2014. Вип. 56 (97). С. 72–78.
2. Принцип побудови гнучких сепараційних характеристик розділових блоків / І.В. Ахметшина та ін. *Збагачення корисних копалин* : науково-технічний збірник. 2007. Вип. 31 (70). С. 6–20.
3. Синтез технологій збагачення корисних копалин / І.К. Младецький та ін. Дніпро : Журфонд, 2023. 137 с.
4. Методика аналітичного розрахунку технологічних показників збагачення корисних копалин / К.А. Левченко та ін. *Збагачення корисних копалин* : науково-технічний збірник. 2014. Вип. 57 (98). С. 66–74.

**REFERENCES:**

1. Akhmetshyna, I.V., Mladetskyi, I.K. (2014). Pryntsyp formuvannia separatsiinoho bloku [The principle of forming a separation block]. *Zbahachennia korysnykh kopalyn*. Vyp. 56 (97). S. 72–78 [in Ukrainian].
2. Akhmetshyna, I.V., Mostyka, Yu.S., Shutov, V.Iu. (2007). Pryntsyp pobudovy hnuchkykh separatsiinykh kharakterystyk rozdilovykh blokiv [The principle of building flexible separation characteristics of separation blocks]. *Zbahachennia korysnykh kopalyn*. Vyp. 31 (70). S. 6–20 [in Ukrainian].
3. Mladetskyi, I.K., Levchenko, K.A., Dreshpak, O.S., Berezniak, O.O., Medianyuk, V.Iu. (2023). Syntez tekhnolohii zbahachennia korysnykh kopalyn [Synthesis of mineral enrichment technologies]. Dnipro: Zhurfond. 137 s. [in Ukrainian].
4. Levchenko, K.A., Pylov, P.I., Mladetskyi, I.K. (2014). Metodyka analitychnoho rozrakhunku tekhnolohichnykh pokaznykiv zbahachennia korysnykh kopalyn [Methods of analytical calculation of technological indicators of mineral enrichment]. *Zbahachennia korysnykh kopalyn*. Vyp. 57 (98). S. 66–74 [in Ukrainian].