

Корисна модель належить до способів збагачення руд кольорових металів, зокрема окислених, змішаних, труднозбагачуваних мідних руд та порід, іншої мідьвмісної сировини. Переважна галузь застосування - отримання мідного концентрату з мідьвмісних базальтових порід з покладів Волинського Полісся.

Базальтові поклади на Волині на сьогодні є єдиним природним джерелом для отримання власної міді в Україні. Тривалий час базальти використовуються лише для виготовлення щебню, крихти, висівок, мінеральної вати, будівельних виробів та ін. Між тим базальти Волині мають промислово значущий вміст міді, вміст благородних металів і ванадію в десятки разів вищий за фоновий.

Базальти відносять до категорії самородно-окислених мідних руд, рядових, з вмістом міді 1,0-1,5 %, і бідних, з вмістом міді 0,2-0,5 % ("Обґрунтування інвестицій у вивчення й освоєння покладів міді на прикладі рудопрояву Жиричі (Волинь)", В.Г. Мельничук, В.Л. Приходько, Мінер. зб., 2015, № 65, Вип. 2, С. 4-13.-<https://publications.lnu.edu.ua/collections/index.php/mineralogy/article/view/1453/1433>).

Наразі найбільш поширеним способом отримання мідного концентрату з мідних руд і мідьвмісної сировини є пінна флотація.

Відомі способи флотації, в яких для підвищення ефективності пропонують нові реагенти, комбінації реагентів, режими флотації. Наприклад, А.С. СРСР №547685, 1976; RU2623851, 2017-06-29; RU22400308, 2010-09-27; RU2564723C2, 2015-10-10; RU 2278740, 2006-06-27 та багато інших. Недоліком відомих способів флотації є недостатня ефективність щодо вилучення концентрату, високі витрати реагентів, висока екологічна небезпека.

Відомі гідрометалургійні способи збагачення мідних руд засновані на вилуговуванні, наприклад, RU2418872C2, 2011-05-20; WO2014033548A2, 2014-03-06; RU2578882C2, 2016-03-27. Найбільш перспективними вважають комбіновані флотаційно-гідрометалургійні способи, наприклад, RU2439177C2, 2012-01-10; RU2604279C1, 2016-12-10. Недоліками гідрометалургійних і комбінованих флотаційно-гідрометалургійних способів є високі капітальні та експлуатаційні витрати, складність технологічних схем, в яких застосовують чанове або автоклавне вилуговування, апарати для осадження, екстракції, промивання, фільтрації, значна кількість циркулюючих продуктів, коштовні реагенти, складність підтримання режимів, висока екологічна небезпека.

Відомі способи переробки мідних руд, що включають фізичні способи збагачення: гравітаційні, магнітні, електричні та їх комбінації. Наприклад, "Спосіб підготовки мідьвмісних базальтів до комплексного збагачення" за пат. UA 42265, 25.06.2009 який заснований на сухому збагаченні. Спосіб включає дроблення та класифікацію, відрізняється попереднім відділенням магнітоактивної частини і вилученням з немагнітної фракції самородної міді методом електросепарації. Протиріччям заявлених операцій є те, що магнітна сепарація базальтів потребує тонкого подрібнення, менше 0,05мм, але електросепарація працює на більшій крупності: для валкових електросепараторів більше 0,1 мм, для коронних більше 0,05 мм ("Металовмісна фракція Волинських базальтів" (англ.), <https://Shevchenko H., Malanchuk Ye., Korniyenko V., Cholyshkina V., Kurilov V., Samodryha O. Metal-containing fraction of Volyn basalts.pdf>). Також недоліком способу є громіздке апаратне оформлення, високі втрати міді в операціях магнітної і електричної сепарації через недостатнє розкриття базальтових мінералів, низьке вилучення міді і якість концентрату.

Також відомі способи, що включають гравітаційне розділення подрібненої сировини перед збагаченням. Гравітаційні способи найчастіше застосовують для розсіпних родовищ і крупновкраплених руд (Р.О. Берт "Технология гравитационного обогащения", М: Недра, 1990, 559 с.). Наприклад, RU №2096504, 20.11.1997; RU2601526C1, 10.11.2016; RU2501869C1, 20.12.2013. Гравітаційне розділення реалізують з використанням різноманітних пристроїв: шлюзів, класификаторів, концентраторів, концентраційних столів та ін. Подальшому збагаченню піддають або концентрат, або хвости гравітації, але досить часто обидва продукти є не кондиційними за якістю і їх треба доробляти. Недоліком відомих способів з застосуванням попереднього гравітаційного збагачення є низьке вилучення і якість гравітаційних концентратів, високі втрати цінного компонента з хвостами.

Найбільш близьким аналогом до корисної моделі є спосіб збагачення золотовмісної сировини, що передбачає отримання мідного концентрату з мідьвмісної сировини, розкритий у патенті RU 2268893 С1, опубл. 2011-09-10, який включає дроблення і подрібнення вихідної сировини до крупності 60 % класу мінус 0,063 мм, гравітаційне збагачення у відцентрових концентраторах і потім на концентраційних столах з отриманням пісків і зливу, виведення пісків як кондиційного концентрату і колективну флотацію хвостів гравітації, сірчанокислотне чанове вилуговування флотаційного концентрату, екстракцію міді з розчину вилуговування і флотацію міді та срібла з твердої фази (кеку) вилуговування.

Недоліками відомого способу є:

- відсутність оптимізованих параметрів гравітаційного збагачення, що веде до низького вилучення цінного компоненту в концентрат гравітації, особливо для тонкодисперсної базальтової сировини;
- надходження значної кількості породи у флотаційний процес, що призводить до підвищених витрат флотаційних реагентів та екологічної небезпеки від відходів флотації, що поступають у шламосховище;

- значний вихід відходів і втрати цінного компоненту з відходами флотації та вилуговування.

Згідно способу гравітаційне збагачення дозволяє виділити золотовмісний концентрат і хвости, але кількість концентрату мала, бо вміст золота в руді лише кілька грамів на тонну, в самих багатих рудах до 7-16 г/т. Таким чином, хвости гравітації - це основна маса сировини, яка далі поступає на флотацію і вилуговування. Чим більший обсяг такої сировини, тим вищі витрати реагентів на флотацію і вилуговування, тим вищі втрати цінних мінералів з відходами цих операцій. Крім того ефективність гравітації і флотації знижена через значну кількість шламів, що поступають разом з живленням, яке тонко подрібнене до крупності 60 % класу мінус 0,063 мм. Колективна (сумісна) флотація сульфідних і окислених мінералів потребує комплексу реагентів-збирачів, вона є важко керованим процесом через нестабільне співвідношення окислених і сульфідних мінералів у живленні флотації.

В основу корисної моделі поставлено задачу розробити новий спосіб отримання мідного концентрату з мідьвмісної сировини, зокрема з базальтів, що буде більш ефективним.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі отримання мідного концентрату з мідьвмісної сировини, що включає дроблення, подрібнення, класифікацію, гідравлічну концентрацію та флотацію, відповідно до корисної моделі, подрібнення виконують до крупності 90-95 % класу мінус 0,075 мм, отриманий продукт розводять водою до щільності пульпи 1,1-1,15 г/см³ та піддають гідравлічній сепарації при швидкості висхідного потоку 3-3,5 мм/с з отриманням пісків і зливу, при цьому піски гідравлічної сепарації піддають прямій селективній флотації міді, злив гідросепарації згущують і рідку фазу повертають у оборот як зворотну воду, тверду фазу згущення виводять на досушування і використовують як будівельну мінеральну сировину.

Також поставлена задача вирішується тим, що піски гідравлічної сепарації піддають сульфідизації і виконують флотацію міді з використанням сульфідрильних збирачів при одночасній депресії оксидів заліза до виділення відвальних відходів з вмістом міді не вище за 0,2 %.

Особливо ефективним спосіб є, коли в якості мідьвмісної сировини використовують мідьвмісні базальти з родовищ Волинського Полісся.

Завдяки наведеним вище суттєвим ознакам корисної моделі досягається технічний результат: підвищення ефективності завдяки концентрації металовмісної фракції перед флотацією, зменшенню обсягу флотації та витрат флотореагентів; підвищення вилучення міді в концентрат при виведенні відходів з вмістом міді не вище 0,2 %, зниження екологічної небезпеки.

Зв'язок між суттєвими ознаками та технічним результатом полягає в наступному.

Згідно корисної моделі подрібнення вихідної базальтової сировини виконують до крупності 90-95 % класу мінус 0,075 мм. Задачею подрібнення є досягти високої ступені розкриття мінералів для відділення мідних мінералів від породи. За даними В.Г. Мельничука 55 % міді в базальтах розподілені в породі як вкраплення. Для розкриття вкраплених окислених і самородних мідних мінералів потрібне тонке подрібнення. Самородну мідь в базальтах треба не тільки відділити від породи, але вона й сама потребує подрібнення через поліморфізм. Так за даними академіка О.Ю. Лукіна "мідне оруднення магматичних трапових базальтів містить сплави металів: міді і заліза у рівних долях, міді та срібла, міді та золота, типу латуні та бронзи. У вкраплених кристалах розсіяної міді в базальтах максимальний вміст Fe до 3,54 %, Ag до 0,37 %, Au до 0,03 %" (А.Е. Лукин, В.Г. Мельничук " О природных сплавах в меденосных нижневендских базальтах Волыни", Доповіді НАН України, 2012, № 1).

При подрібненні до крупності 90-95 % класу мінус 0,075 мм середня крупність отриманого продукту становить приблизно 50 мкм. Так, при подрібненні до 95 % класу мінус 75 мкм вміст вузьких класів за ситовим аналізом, з точністю ± 2 %, становить: 100 мкм - 1 %; 75 мкм - 6 %; 50 мкм - 60 %; 20 мкм - 23 %; мінус 10 мкм - 10 %.

Більш грубе подрібнення, ніж заявлене у корисній моделі, веде до того, що нерозкриті зростки мінералів будуть осаджуватися в піски гідросепарації, що веде до зниження якості гравітаційного і флотаційного концентратів. Більш тонке подрібнення, ніж заявлене, приводить до перезмелення породи і окислених мідних мінералів, що веде до втрат міді з хвостами гравітації і флотації. При заявленій крупності всі тонкі шлами породи, 10-20 мкм і менше, завдяки гравітаційному збагаченню (гідросепарації) виводяться висхідним потоком в злив і далі поступають у відходи, тобто шлами не мають негативного впливу на флотацію.

Таким чином, заявлена крупність подрібнення є ефективною, як для гравітаційного розділення, так і для флотації. Вона дозволяє виконати концентрацію металовмісної фракції перед флотацією, вивести у відходи тонкі шлами породи, які зменшують вилучення міді при флотації.

Згідно корисній моделі подрібнений продукт розводять водою до щільності 1,1-1,15 г/см³ та піддають гідравлічній сепарації при швидкості висхідного потоку 3-3,5 мм/с з отриманням пісків і зливу. Гідравлічна сепарація з висхідними потоками найбільш ефективно виконується в радіальному дешламаторі або згущувачі. Такі пристрої мають діаметр 2,5-11 м і виготовляються промислово. Заявлені режими щільності пульпи і швидкості висхідного потоку дозволяють винести висхідним потоком нерудну фракцію породи в злив гідросепаратора і осадити металеву фракцію в піски. Це доведено розрахунками і перевірено експериментально. Розрахунки полягали у: 1) визначенні густини

частинок породи; 2) густини мідьвмісних частинок; 3) визначенні швидкості осадження тих і інших частинок за формулою Стокса. Результати приведені в табл.1.

1.Визначення густини мідьвмісної частинки. Експериментально визначено, що сульфідні мінерали міді знаходяться в базальтах в незначній кількості. Головними мідними мінералами є самородна мідь і окислені мінерали, переважно це: малахіт (густина 4 г/см³, CuCO₃·Cu(OH)₂, 57,4 % Cu), куприт (густина 6 г/см³, Cu₂O, 88,8 % Cu), азурит (густина 3,8 г/см³, CuCO₃·2Cu(OH)₂, 55,5 % Cu), брошантит (густина 4 г/см³, Cu₄SO₄(OH)₆, 56,2 % Cu). Густина самородної міді 8,96 г/см³, густина окислених мінералів міді (малахіт, куприт, азурит, брошантит) в середньому 4 г/см³. Середнє значення: (8,96+4)/2=6,5 г/см³. Але для розрахунків ми прийняли густину мідьвмісної частинки не 6,5, а з великим запасом - 5,2 г/см³ (як у заліза, вміст якого в базальті найбільший, від 6 до 10-15 %). Очевидно, що всі більш густі частинки, ніж 5,2 г/см³, в тому числі самородна мідь, осаджуватимуться в піски гідросепаратора швидше.

2. Визначення густини частинки породи. Основними мінералами породи в базальтах є плагіоклази (36-40 %) і піроксен (33-35 %), а також вулканічне скло, палагоніт та ін. За проведеними експериментами густина породних частинок базальту встановлена як 2,54 г/см³.

3. Визначення швидкості осадження частинок. Розрахунок швидкості в першому наближенні виконано за формулою Стокса. Наприклад, для мідьвмісної частинки крупністю 0,005 см (50 мкм), що осаджується в суспензії з щільністю 1,15 г/см³, кінематичною в'язкістю 0,01304 см²/с швидкість осадження дорівнює:

$$V = 54,5 \cdot \frac{d^2}{\nu} \cdot \frac{\rho_{\text{бет}} - \rho_{\text{сусп}}}{\rho_{\text{сусп}}} = 54,5 \cdot 0,005^2 / 0,01304 \cdot (5,2 - 1,15) / 0,37 \text{ см} / \text{с} = 3,7 \text{ мм} / \text{с}$$

Таблиця 1

Щільність суспензії $\rho_{\text{сусп}}$, г/см ³	Крупність частинок 0,075 мм			Крупність частинок 0,005 мм		
	В'язкість ν , см ² /с	Швидкість осадження, мм/с		В'язкість ν , см ² /с	Швидкість осадження, мм/с	
		Металева частинка $\rho_m=5,2$ г/см ³	Порода, $\rho_n=2,54$ г/см ³		Металева частинка $\rho_m=5,2$ г/см ³	Порода, $\rho_n=2,54$ г/см ³
1,10	0,01169	9,8	3,43	0,01188	4,3	1,5
1,15	0,01271	8,5	2,91	0,01304	3,7	1,3
1,2	0,01390	7,4	2,5	0,01440	3,2	1,1

Основна мета гідросепарації - осадити в піски металовмісні частинки. Переважно це стосується частинок середньої крупності 50 мкм. З табл. 1 видно, що якщо швидкість висхідного потоку встановлена 3,5 мм/с, то, частинки 50 мкм мають більшу швидкість - 3,7 мм/с, тому вони осядуть в піски. Якщо швидкість висхідного потоку 3 мм/с, то металева частинка 50 мкм безперечно осяде. Швидкість частинок породи мала, 1,5 та 1,3 мм/с, тобто швидкості висхідного потоку 3-3,5 мм/с цілком достатньо, щоб винести їх в злив.

Таким чином, заявлена швидкість висхідного потоку 3-3,5 мм/с дозволяє ефективно осадити в піски металовмісні частинки і винести в злив породну фракцію.

Заявлений діапазон щільності суспензії 1,1-1,15 г/см³ обґрунтовано наступним. З табл.1 видно, що для пульпи більш густої, ніж 1,15 г/см² рух всіх частинок стає загальмованим, швидкість осадження зменшується. Відповідно треба зменшувати швидкість висхідного потоку, щоб не винести в злив металеві частинки. Але проблема в тім, що малі швидкості висхідного потоку технічно важко підтримувати і контролювати. Якщо суспензія більш рідка, ніж 1,1 г/см², то значно зростають витрати свіжої води на гідросепарацію, що знижує економічні показники процесу. Таким чином, діапазон щільності живлення гідросепарації 1,1-1,15 г/см³ є раціональним.

Заявлені параметри: щільність пульпи в гідросепараторі 1,1-1,5 г/см³ і швидкості висхідного потоку 3-3,5 мм/с забезпечують ефективне розділення при гідросепарації не тільки за крупністю, а й за речовинним складом, бо забезпечується винос легких фракцій породи в злив і осадження металевих фракцій в піски. Оскільки породи значно більше, ніж металовмісної фракції, то переважна частина сировини виводиться в злив.

Таким чином, використання гідросепарації із заявленими параметрами сприяє досягненню технічного результату: концентрації металовмісної фракції, виведенню у відходи значної частини сировини, що представлена породою, зменшення обсягу флотації та витрат флотореагентів, зменшення кількості відходів флотації і екологічної небезпеки від шламосховищ відходів.

Згідно корисній моделі, піски гідралічної сепарації піддають прямій селективній флотації міді, злив гідросепарації зневоднюють і рідку фазу повертають у оборот як зворотну воду, тверду фазу виводять на досушування і використовують як будівельну сировину.

Піски гідросепарації виводять на флотацію, а злив зневоднюють, наприклад, шляхом згущення. Рідку фазу згущення використовують як зворотну воду, що економить витрати свіжої води на переробку базальту. Піски згущення досушують і використовують як мінеральну сировину. Якість такого продукту полягає у високій рівномірності за крупністю і формою частинок. При використанні мінеральної сировини зливу в будівництві, це сприяє більш щільній укладці частинок, меншим витратам цементу і більшій міцності будівельних виробів.

Також спосіб за корисною моделлю відрізняється тим, що піски гідравлічної сепарації піддають сульфідизації і виконують флотацію міді з використанням сульфідрильних збирачів при одночасній депресії оксидів заліза до виділення відвальних відходів з вмістом міді не вище 0,2 %.

Базальти містять самородну і окислену мідь. Вміст сульфідних мідних мінералів незначний. Зокрема, про це свідчить експериментально встановлений малий вміст сірки в базальтах. Експериментально доведено, що флотація такого продукту оксигідрильними збирачами має нижчі показники, ніж флотація сульфідрильними збирачами з попередньою сульфідизацією. Тому за корисною моделлю передбачена сульфідизація, наприклад, сульфідом натрію, і флотація сульфідрильними збирачами, наприклад, ксантогенатами, модифікованими дитіофосфатами тощо. Вміст заліза в базальтах становить від 6-7 % до 10-15 %. Залізо є шкідливою домішкою при вилученні мідного концентрату. Щоб зменшити вихід заліза в пінний продукт передбачено застосування депресорів заліза, наприклад, гашеного вапна.

За корисною моделлю передбачено, що флотація повинна виконуватися в кілька прийомів, до досягнення "чистих" за міддю відходів, з вмістом не вище 0,2 % міді. Це показують дані табл. 2, де приведено, що при отриманні стандартного, мінімального за якістю, концентрату з вмістом міді 15 % (ДСТ 52998-2008), при перевищенні вмісту міді у відходах - 0,3 % замість 0,2 %, вилучення міді різко зменшується, також зменшується вихід концентрату, що, в цілому зменшує ефективність процесу.

Таблиця 2*

Вміст міді в живленні флотації, α , %	Вміст міді у відходах, θ , %	Якість концентрату, β , %	Вихід концентрату, γ , %	Вилучення міді в концентрат, ε , %
0,5	0,2	15	1,52	60,61
0,5	0,3	15	1,02	40,61
1,0	0,2	15	5,4	81,08
1,0	0,3	15	4,8	71,43

$$*\gamma = 100(\alpha - \theta) / (\beta - \theta); \varepsilon = \gamma \cdot \beta / \alpha, \%$$

Таким чином, заявлені ознаки корисної моделі дозволяють досягнути підвищення ефективності процесу вилучення міді з базальтів завдяки підвищенню вилучення міді в концентрат за рахунок отримання відходів флотації з вмістом міді не вище за 0,2 %.

Схема корисної моделі представлена на кресленні.

Послідовність виконання операцій, приведених на кресленні, наступна.

Вихідна базальтова сировина після видобутку поступає в дробарку типу КМД, або послідовно в дробарку КСД і КМД, залежно від крупності видобутого базальту. Розвантаження дробарки крупністю 20-30 мм поступає на подрібнення в кульовому млині типу МШЦ, який працює в замкненому циклі із спіральним класифікатором типу КСН. Злив спірального класифікатора підтримують не високим, контролюючи його крупність за допомогою ситового аналізу, щоб крупність становила не менше 90-95 % класу 0,075 мм. Злив спірального класифікатора подають у приймальний відсік радіального гідросепаратора з діаметром 5 м, типу дешламатора МД-5 або згущувача СЦ-5, де додаванням води встановлюють щільність пульпи 1,1-1,15 г/см³.

Швидкість висхідного потоку в гідросепараторі встановлюють 3-3,5 мм/с. Для цього регулюють заслінку на пісковому клапані гідросепаратора. Така швидкість дозволяє отримувати велику кількість зливу з високим вмістом породної фракції. Злив гідросепаратора згущують, наприклад, у радіальному згущувачі з центральним приводом СЦ-2,5 або СЦ-5. Щільний продукт згущення прямують на досушування, наприклад, у буртах і потім використовують в якості будівельної сировини. Рідкий продукт - освітлену воду використовують як зворотну в операціях подрібнення, класифікації, гідросепарації, але на флотацію подають свіжу воду.

Піски гідросепаратора подають на активацію реагентами: депресорами заліза, збирачами, піноутворювачем і далі прямують у флотомашини основної селективної флотації, куди додають сульфідизатор. Концентрат основної флотації перечищають (в один або два прийоми) з отриманням концентрату переробки. Хвости основної флотації поєднують з хвостами переробки і флотують на

контрольній флотації (в один або два прийоми). Концентрат контрольної флотації поєднують з концентратом останньої перемішки, а хвости контрольної флотації виводять як відвальні.

Приклад конкретного виконання, показав наступне.

При гідросепарації встановлена щільність пульпи живлення $1,15 \text{ г/см}^3$, швидкість висхідного потоку $3,5 \text{ мм/с}$. Швидкість вимірювалась як об'єм зливу поділений на площу дзеркала радіального гідросепаратора. Вміст міді в базальті (живленні гідросепаратора) становив $0,6 \%$, вміст міді в пісках гідросепаратора $0,77 \%$, в зливі $0,1 \%$. Вихід зливу за твердою фазою становив 75% від вихідної сировини, вихід пісків, що поступали на флотацію, 25% .

Таким чином, завдяки гідросепарації, навантаження по твердому на флотацію зменшилось в три рази, відповідно зменшились витрати флотореагентів. Тверда фаза зливу гідросепаратора виводилась у відходи. Вона не містить реагентів, її використання, після підсушування, як будівельна сировина є екологічно безпечним.

При активації живлення флотації застосовані: вапно, бутиловий ксантогенат калію, піноутворювач Т-60, в ванну флотомашини додавали гідросульфід натрію. При вмісті міді в живленні флотації (пісках гідросепаратора) $0,77 \%$, якість одержаного концентрату становила 21% , вилучення міді в концентрат 81% . Перечищення сумарних хвостів основної флотації і хвостів перечищення на контрольній флотації, як то показане на фіг.1, дозволило отримати відвальні хвости з вмістом міді $0,15 \%$.

Таким чином, використання корисної моделі забезпечує високу ефективність процесу вилучення міді з базальтів, завдяки концентрації металовмісної фракції перед флотацією, зменшенню обсягу флотації та витрат флотореагентів, підвищенню вилучення міді в концентрат при виведенні відходів з вмістом міді не вище за $0,2 \%$, зниженню екологічної небезпеки.

