

DOI <https://doi.org/10.32782/geotech2022.35.22>

УДК 622.7:621.796; 622.341:622.7-913.1

Губіна В.Г., Губін Г.Г.

Губіна В.Г., кандидат геолого-мінералогічних наук, провідний науковий співробітник, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0001-7486-5451, gvg131619@gmail.com

Губін Г.Г., кандидат технічних наук, доцент, Криворізький національний університет, ORCID 0000-0001-6460-918X, gennadiy.gubin@gmail.com

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО СКЛАДУВАННЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ПРОСТОРАХ КАР'ЄРІВ

Анотація. ХХ століття висунуло свої особливі вимоги до гірничо-переробної промисловості, пов'язані з енерго- та ресурсозбереженням. Традиційні технології з видобутку і збагачення корисних копалин суперечать засадам збереження навколишнього середовища та безпеки людей, які створили цю технологію. Мільйони кубометрів забруднених газів і води, відвали пустих порід, шламосховища, порожнини, порушення ландшафту – все це негативні наслідки функціонування гірничо-переробного комплексу. Величезні ями кар'єрів і високі дамби переповнених хвостосховищ разом із вибухами на кар'єрах і шахтах – явище вже геологічного характеру, яке загрожує катастрофічними наслідками, якщо буде запущено пусковий механізм їх взаємодії. В роботі у концептуальному плані викладено погляд на можливий розвиток виробництва на прикладі гірничозбагачувальних залізничних комбінатів. Запропоновано сумісне внутрішньокар'єрне відвалоутворення розкривних порід із сухими або значно зневодненими відходами збагачення у відпрацьованих просторах кар'єрів, за якого хвости збагачення, розкривні та вмісні породи пошарово укладають у вироблений простір, забезпечуючи заповнення хвостами пустот між фрагментами розкривних і вмісних порід. Значно зневоднені відходи збагачення пропонуємо отримувати шляхом згушення на полицьних згушувачах, після чого здійснювати фільтрування на пресфільтрах. Сухі хвости можна отримувати шляхом переходу збагачувальних фабрик на метод сухого (безводного) подрібнення і збагачення залізничної сировини, який припускає проектування короткої одностадійної технологічної схеми подрібнення і збагачення залізистих кварцитів. Ці технології допоможуть істотно знизити витрату електроенергії й забезпечити безпечну експлуатацію хвостосховищ, які перестануть бути складними гідротехнічними спорудами. Це сприятиме запобіганню забруднення вод і прилеглих територій, а також відчуженню земель.

Ключові слова: розкривні породи, відходи збагачення, кар'єр, хвостосховище, сухе складування хвостів, зневоднення.

Вступ. ХХІ сторіччя ставить нові виклики перед гірничопереробною промисловістю, пов'язані, насамперед, з енерго- та ресурсозбереженням і охороною довкілля від забруднення. Мільйони кубометрів забруднених газів і води, відвали розкривних порід, шламосховища, порожнини під землею – все це негативні наслідки діяльності гірничозбагачувальних комбінатів (ГЗК). Сьогодні потребує кардинальних змін у техніці і технологіях видобутку та переробки корисних копалин і складування промислових відходів. Однією з важливих проблем гірничопереробного виробництва є питання відсутності землі для складування відходів за величезних обсягів їх утворення і обмежених можливостях їхнього використання. Крім цього, відходи ГЗК, які займають значні площі, порушують природний ландшафт, гідрологічний режим підземних та поверхневих вод, забруднюють водний і повітряний басейни.

Аналіз досліджень і публікацій. Екологічному стану Кривбасу присвячено багато робіт геологів, географів, гідрогеологів, геофізиків, гірників. У роботі [2] сформульовані головні передумови особливостей

техногенного навантаження Криворізького басейну та післядії багаторічного гірничопереробного виробництва. Відмічено, що загальний обсяг відведення (скидання) оборотних вод без очищення або частково очищених вод у річки Саксагань та Інгулець становить понад 200 млн м³ на рік, у тому числі 11–12 млн м³/рік припадає на водоскиди з мінералізацією близько 40 г/дм³. Дренажні води шахт, кар'єрів і комунальних підприємств м. Кривого Рогу, які мають кисле середовище, проникають у карбонатні гірські породи та є причиною появи карстових воронок, корозії та просідання фундаментів будівель і споруд, зокрема житлових будинків. За даними реєстру місць видалення відходів у Дніпропетровській області, у відвалах ГЗК Кривбасу накопичено 6 млрд т розкривних і вмісних порід, які займають площу понад 5 тис. га. Хвостосховища ГЗК займають площу майже 4 тис. га, у них заскладовано близько 3,7 млрд т відходів збагачення.

Згідно з проектами, у хвостосховища ГЗК Кривбасу має перекачуватися 3,5 млрд м³ на рік пульпи з масовою часткою твердої фази 3–5 %. На подачу 1000 т відходів збагачення до хвостосховища втрачається

6500–8000 кВт·год електроенергії, а на перекачування до збагачувальної фабрики 1000 м³ оборотної освітленої води – 200–400 кВт·год. Витрата прісної води на фабриках складає 30–40 м³ на кожну тону виробленого концентрату. В результаті витрати електроенергії задля гідротранспорту хвостів становлять 12–13 кВт·год або приблизно 12 % від загальних витрат електроенергії на 1 т концентрату.

Самі хвостосховища є складними гідротехнічними спорудами, які завдають значної шкоди навколишньому середовищу. Нині у розвинених гірничодобувних країнах прийнята схема внутрішньо фабричного водообігу, яка дає змогу значно скоротити витрати на перекачування хвостів і освітленої води. Суть її полягає в тому, що відходи збагачення згущуються зазвичай у гідроциклонах і радіальних згущувачах, розташованих на промисловому майданчику збагачувальної фабрики приблизно до 40 % твердого і в такій консистенції перекачуються в хвостосховище. Освітлена вода подається на фабрику. Подібна технологія запроваджена на Південному ГЗК в Кривбасі. Установлено, що попереднє згущення хвостів до 25 % твердого зменшує обсяг пульпи, яка перекачується, у п'ять разів, а до 30 % – майже в 10 разів. Однак, попри прогресивність цього способу, він не усуває багатьох проблем, тому що залишається необхідність у спорудженні дамб і гребель хвостосховищ, тобто не вирішуються питання охорони навколишнього середовища й безпеки експлуатації гідротехнічних споруд, не зменшуються витрати електроенергії на перекачування хвостів і освітленої води на фабрику.

Більш передовим напрямком є сухе складування відходів збагачення. Однак така технологія потребує складнішої підготовки хвостів. На рис. 1 наведено технологічну схему підготовки хвостів, яку було запропоновано під час проєктування Першотравневого залізрудного комбінату в Кривому Розі [7].

За даними [7, 10], гранулометрична характеристика та фізико-механічні властивості пісків класифікаторів (див. рис. 1) роблять їх придатними для наміву гребель хвостосховища, а також їх можна використовувати як будівельний пісок. Такі піски задовільно транспортуються стрічковим конвеєром, а у випадку складування додатково зневоднюються протягом доби до масової частки вологи 9–14 % і утворюють у териконі кут природного укосу 40°. Для зменшення вологості пісків можна застосовувати також електроосмотичне зневоднення.

Відвальні хвости (див. рис. 1) спрямовуються до радіального згущувача. Після згущення до 40–50 % твердого їх зневоднюють на дискових вакуум-фільтрах до вологості кеку 19–22 %.

Для прискорення освітлення пульпи випробували різні флокулянти, наприклад поліакриламід.

Питоме навантаження на згущувач по твердому становило 1,5–1,6 т/м²·добу, по пульпі – 1,5–1,7 м³/м²·год, питома продуктивність фільтра – 0,06–0,13 т/м²·год. Коефіцієнт пористості зневоднених хвостів у природному стані складає 0,95, коефіцієнт фільтрації – 0,35 м/добу,

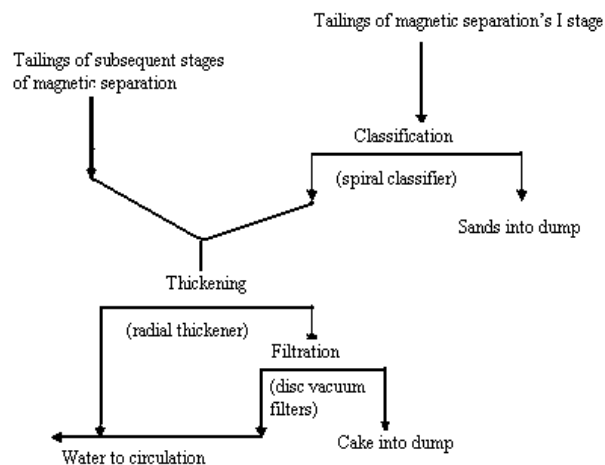


Fig. 1. Scheme of dehydration of beneficiation wastes at full closed intrafactory water circulation and dry storage of tailings

кут зсуву – 27–30°, насипна щільність у рихлому стані – $1,3 \cdot 10^3$ кг/м³, за скидання – $1,75 \cdot 10^3$ кг/м³. Модуль осадки становив, мм/кг: за навантаження 0,5 кг – 2,6; 1 кг – 35,6; 2 кг – 37,9; 3 кг – 58,4; зчеплення – 0,16 кгс/см². Кек задовільно транспортується на стрічковому конвеєрі.

Дослідження набухання показали, що кек з масовою часткою вологи 22 %, ущільнений за навантаження 2 кгс/см², мав незначне набухання (2–3 %). Це свідчило, що хвости, укладені в терикони або штабелі, не будуть насичуватися вологою атмосферних опадів. Експерименти з ущільнення кеку з подальшим зануренням і витримкою у воді показали, що він зберігав первісну форму, практично не збільшувався в об'ємі та не перетворювався на суспензію або гель. Після висихання ущільнений кек набував властивості брекчій або природного агломерату. Тому у роботі [7] зроблено висновок, що запропонована схема зневоднення (див. рис. 1) може бути рекомендована як складова частина технології сухого збагачення і повного замкненого внутрішньофабричного водообігу.

У Криворізькому національному університеті виконано експерименти з інтенсифікації процесу згущення і фільтрування відходів збагачення постійним електричним струмом [3], які показали ефективність такої обробки для зневоднення.

Зневоднення і складування фракції хвостів +0,14 мм до вологості 6–18 % для отримання 400–450 тис. м³ на рік будівельного піску було реалізовано на Новокриворізькому ГЗК. На рис. 2 представлена схема сухого складування великих мас хвостів за використання консольних відвалоутворювачів [6].

Відома ідея використання відвалів розкривних порід для спільного складування з відходами збагачення. Однак всі способи та схеми передбачають на утворених відвалах монтаж транспортних комунікацій і використання додаткового обладнання для створення

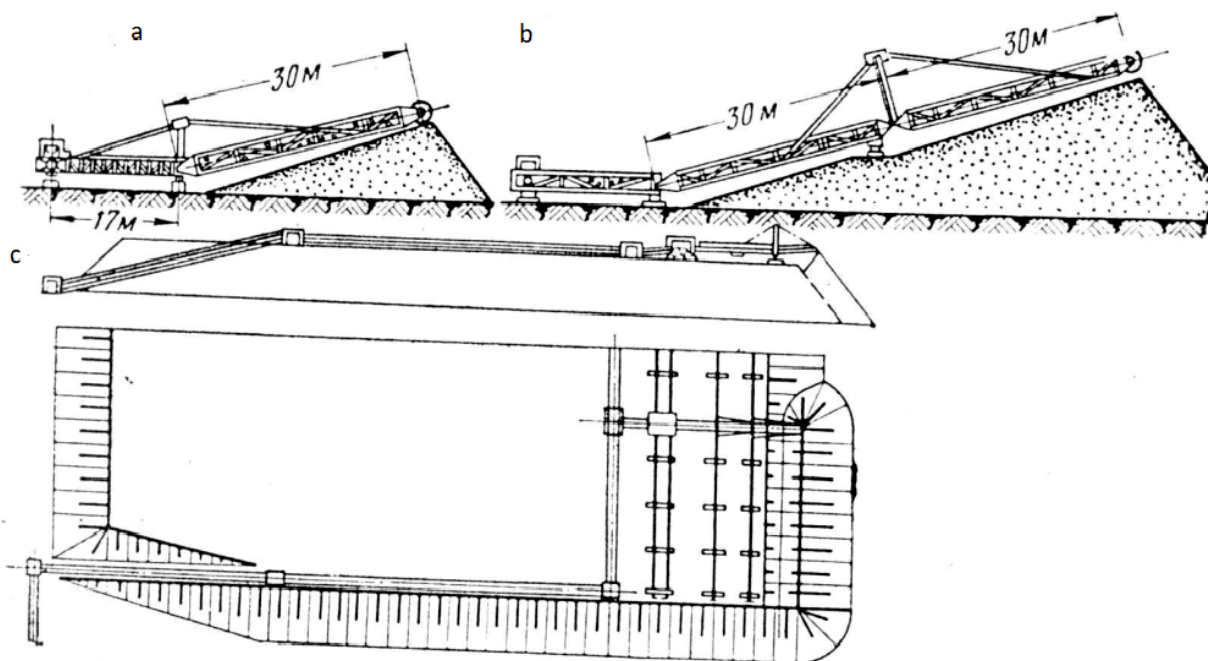


Fig. 2. Tailings dry storage scheme using on the dump of the support link cantilever spreader: *a* – dumping by the first link; *b* – dumping of the dump by the second and subsequent links; *c* – filling the first tier of the dump with tailings

приймальної ємності й укладання в неї відходів виробництва.

У роботі [5] описано спосіб відвалоутворення скельних порід із одночасним захороненням твердих відходів міських стічних вод, який дає змогу не тільки використовувати наявну транспортну інфраструктуру та техніку відвального господарства, але й здійснювати захоронення будь-яких твердих відходів. Однак складування відходів послаблює стійкість відвального ярусу. Тому необхідно розробити параметри приймальної ємності, які б забезпечували безпечні умови роботи відвального устаткування.

Описана технологія зі здійсненням ряду удосконалень може бути використана для сухого складування відходів збагачення.

Вважається, що розкривні породи, які складають у зовнішні відвали, займають до 30 % земельного відводу ГЗК, а разом з відходами збагачення складають 50 %, тоді як під кар'єр відводиться тільки 14,5 % [1]. Тому 2004 року Мінпромполітики України затвердило «Положення про проектування внутрішнього відвалоутворення та складування відходів виробництва в залізрудних і флюсових кар'єрах», які регламентують правові, організаційні і технологічні заходи з видобування мінеральної сировини із розміщенням відходів гірничого виробництва у відробленому просторі діючих залізрудних і флюсових кар'єрів, що проектується в Україні, на підставі яких вітчизняні науковці пропонують технології створення внутрішніх відвалів у відроблених глибоких кар'єрах або їхніх ділянках як після повного їх відпрацювання, так і під час експлуатації родовища [1]. У роботі [8] зазначено, що розміщення розкривних порід у виробленому просторі кар'єру дає можливість в 3–5 разів скоротити шлях (відстань)

їх транспортування, на 70 % зменшити потребу відведення землі під зовнішні відвали, на 20 % знизити енерго- і матеріальні ресурси, до 40 % скоротити обсяг загазованості та запилення. Внутрішньокар'єрне відвалоутворення реалізується на деяких підприємствах, наприклад, на Центральному ГЗК і ГЗК «АрселорМітал Кривий Ріг». Однак це не вирішує проблему зменшення площ під складування відходів збагачення.

Мета дослідження. Розробка пропозицій щодо технології складування розкривних порід і значно зневоднених або сухих відходів збагачення (хвостів) гірничозбагачувальних комбінатів у відпрацьованих просторах кар'єрів.

Методи дослідження. Запропонована математична модель, згідно з якою видобуток корисних копалин ведеться збалансовано за обсягом видобутку гірничої маси та сумісного складування у відпрацьовані простори кар'єрів відходів гірничого виробництва, зокрема розкривних порід і зневоднених або сухих відходів збагачення. Сухе подрібнення і збагачення здійснювали в лабораторних і полупромислових умовах на млині кульовому для сухого подрібнення та сухому вертикальному роликовому млині компанії *Loesche*. Дослідження зі зневоднення відходів збагачення виконано на установці з радіального згущувача діаметром 1,5 м і гідроциклона діаметром 50 мм із зумпфом об'ємом 3200 дм³. Інтенсифікацію процесу згущення забезпечено за допомогою електрофонетичної обробки пульпи, а фільтрацію – шляхом електроосмотичної обробки кеку на дисковому фільтрі діаметром 500 мм.

Виклад основного матеріалу. Вирішити проблему зменшення техногенного навантаження на довкілля в процесі складування відходів можна, застосувавши такі

кардинальні заходи як сумісне внутрішньокар'єрне відвалоутворення розкривних порід із сухими або значно зневодненими відходами збагачення. Останнє можливо завдяки застосуванню ефективних технологій згущення і фільтрування.

Заповнення кар'єру відходами виробництва пропонуємо здійснювати за принципом «де і скільки видобуто руди, туди ж і стільки ж потрібно покласти відходів». Хвости збагачення, розкривні та вмісні породи потрібно пошарово укладати у вироблений простір і забезпечувати заповнення хвостами порожнин між фрагментами розкривних і вмісних порід.

Видобуток корисних копалин необхідно здійснювати із збереженням балансу обсягу видобутку гірничої маси та сумісного складування у відпрацьований простір кар'єру відходів гірничого виробництва до завершення відпрацювання балансових запасів відповідно до рівняння, згідно з яким сумарні обсяги відпрацьованих просторів, відвалів, хвостосховищ і гірничої маси, яка буде видобута до кінця відпрацювання родовища, повинні дорівнювати об'ємам руди, яка буде видобута до кінця відпрацювання родовища з урахуванням коефіцієнтів розкриття, утилізації (використання) розкривних та вмісних порід, відходів збагачення і коефіцієнта виходу товарної продукції.

$$V_{\text{вп}} + V_{\text{в}} + V_{\text{хв}} + V_{\text{гм}} = V_{\text{р}} \cdot ((K_{\text{вс}} \cdot (1 - K_{\text{увс}}) + ((1 - K_{\text{впп}} - K_{\text{ухв}} + K_{\text{впп}} \cdot K_{\text{ухв}})) (1 - W),$$

де $V_{\text{вп}}$ – об'єм відпрацьованого простору; $V_{\text{в}}$ – об'єм відвалу; $V_{\text{хв}}$ – об'єм хвостосховища з урахуванням можливого безпечного нарощування ємностей; $V_{\text{гм}}$ – об'єм гірничої маси, яка буде видобута до кінця відпрацювання родовища; $V_{\text{р}}$ – об'єм руди, яка буде видобута до кінця відпрацювання родовища; $K_{\text{вс}}$ – коефіцієнт розкриття; $K_{\text{увс}}$ – коефіцієнт утилізації розкривних і вмісних порід; $K_{\text{впп}}$ – коефіцієнт виходу товарної продукції; $K_{\text{ухв}}$ – коефіцієнт утилізації відходів збагачення; W – вологість зневоднених хвостів.

Кар'єр відпрацьовують етапами, які передбачають видобуток руди, транспортування її на збагачувальну фабрику, вилучення з руди корисного компонента з отриманням концентрату і хвостів збагачення.

Хвости збагачення попередньо згущують на поличних згущувачах і фільтрують на пресфільтрах відповідно до схеми, наведеної на рис. 1. Інтенсифікацію цих процесів пропонуємо забезпечувати за рахунок впливу постійного електричного струму або ультразвуку на матеріал, що обробляється.

Сухі хвости пропонуємо отримувати шляхом переходу збагачувальних фабрик на сухе (безводне) подрібнення і збагачення залізородної сировини. Для цього проектується коротка одностадійна технологічна схема подрібнення та збагачення залізистих кварцитів, яка передбачає одностадійне сухе подрібнення руди та суху магнітну сепарацію (рис. 3).

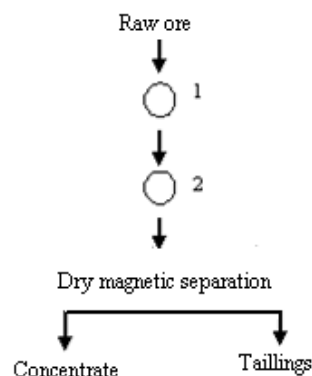


Fig. 3. Principal short technological scheme for enrichment of quartzite deposits: 1 – coarse crusher (KKD); 2 – dry vertical roller mill from Loesche [4]

Подрібнення та магнітна сепарація здійснюються з розрідженням, щоб уникнути запилення робочих місць. Продукти збагачення транспортують пневмотранспортом: концентрат – на подальше перероблення, а відходи збагачення – у відпрацьований простір кар'єру.

Запропонований спосіб може бути використаний під час розробки потужних покладів корисних копалин кар'єрами, які мають значні геометричні параметри і у яких можливо складувати у виробленому просторі продукти переробки корисних копалин, а також у ході проектування гірничих робіт відкритим і відкрито-підземним способами, які передбачають технологічний взаємозв'язок робіт з видобутку корисних копалин і складування у виробленому просторі продуктів переробки – хвостів збагачувального процесу. У березні 2022 року ми із співавторами отримали патент на корисну модель «Спосіб видобутку корисних копалин та складування відходів їх переробки» [9].

Висновки. 1. Надано пропозиції щодо сумісного складування розкривних порід і значно зневоднених або сухих відходів збагачення (хвостів) у відпрацьованих просторах кар'єрів, згідно з якими хвости збагачення, розкривні та вмісні породи пошарово укладають у вироблений простір, забезпечуючи заповнення хвостами порожнин між фрагментами розкривних і вмісних порід. Відповідно, видобуток корисних копалин має відбуватись збалансовано за обсягом видобутку гірничої маси та сумісного складування у відпрацьований простір кар'єру відходів гірничого виробництва до завершення відпрацювання балансових запасів родовища.

2. Згущення та фільтрування хвостів запропоновано здійснювати із застосуванням новітнього обладнання з отриманням низьковологих кінцевих хвостів, придатних для складування.

3. Отримання сухих хвостів передбачено забезпечувати за рахунок упровадження сухого подрібнення і збагачення шляхом корінної реконструкції збагачувальної фабрики.

4. Запропоновані технології допоможуть перейти до безпечної експлуатації хвостосховищ, які перестануть бути складними гідротехнічними спорудами, що сприятиме запобіганню забруднення вод і прилеглих територій.

References

1. Drizhenko, A.Yu., Kuzenko, H.V. (2007), Sovershenstvovanie tehnologii vyiemki i otvaloobrazovanie porod vskryishi pri razrabotke gruppyi zhelezorudnykh karerov, *Visnyk Kryvorizkoho tekhnichnoho universytetu*, 18: 3-7.
2. Hubin, H.V., Golyarchuk, N.I. (2011), Problemyi tehnogennoy bezopasnosti v gornodobyivayushchih regionah, *Gornaya promyshlennost, Spetsialnyy vyipusk*: 50-54.
3. Hurin, A.A., Hubin, H.H., Belik, V.V. (2004), Tehnologiya vnutfabrichnogo vodooborota s intensifikatsiey sguscheniya vozdeystviem postoyannogo elektricheskogo toka, *Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy*, 87: 57-59.
4. Holovan', V.I., Hubin, H.V. (2014), Korotkaya tekhnologicheskaya skhema obogashcheniya magnetitovykh rud. obespechivayushchaya vysokuyu energoeffektivnost' pri proizvodstve kontsentrata, *Zbahachennya korysnykh kopalyn*, 58(99)–59(100): 60-70.
5. Kovalchuk, V.A. (1999), Ispolzovanie deystvuyushchih otvalov dlya zahoroneniya othodov s posleduyushey ih rekultivatsiey, *Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy*, 68: 3-6.
6. Migutskiy, L.R., Gorbunov, E.V., Andriyuts, H.L. (1972), Novaya tehnologiya skladirovaniya shlamov mokrogo obogascheniya, *Byulleten institutata Chermetinformatsiya*, 4: 13-16.
7. Pisarev, A.M., Vovk, N.E. (1976), Obezvozhivanie hvostov Pervomayskogo zhelezorudnogo kombinata, *Obogaschenie rud chernykh metallov*, 5: 134-138.
8. Shapar, A.H. (2011), Problemy razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh na bol'shikh glubinakh na latinit, *Kombinirovannyye tehnologii razrabotki mestorozhdeniy glubokimi karerami i shahtami*: 104-120.
9. Hubin, H.H., Holyarchuk, M.H., Hubina, V.H., Korolenko, M.K., Hubin, H.V., Kryvenko, Yu.Yu. (2022), Sposib vydobutku korysnykh kopalyn ta skladuvannya vidkhodiv ikh pererobky: patent 150578 Ukraine: E21F 13/00; E21S 41/26 (2006.01) No. a 2021 05835; zayavl. 18.10.2021; opubl. 02.03.2022; Bul. No. 9, 4 s.
10. Vovk, N.E. (1977), Oborotnoe vodosnabzhenie i podgotovka hvostov k skladirovaniyu, Moscow.

ABOUT ACCUMULATION OF WASTE OF MINING AND MINERAL PROCESING IN QUARRIES

V. Hubina, H. Hubin

Hubina V.H., Ph. D. (Geol.-Min.), Senior Research Fellow, Leading Researcher State Institution "Institute of Environment Geochemistry of the NAS of Ukraine", ORCID 0000-0001-7486-5451, gvg131619@gmail.com

Hubin H.H., Ph. D. (Techn.), docent, Kryvyi Rih National University, ORCID 0000-0001-6460-918X, gennadiy.gubin@gmail.com

Abstract. The XX century has put forward its special requirements for the mining industry, which are related to energy and resource conservation. Traditional technologies for the extraction and enrichment of minerals are hostile to the environment and the people who created this technology. Millions of cubic meters of polluted gases and water, dumps of waste rocks, sludge storages, voids, landscape disturbances - all these are negative consequences of ore mining and processing. Huge quarry pits and high dams of overcrowded tailings, along with explosions in quarries and mines, would cause threatening catastrophic consequences if a trigger for their interaction is launched. In the paper, a conceptual point of view on the possible development of production is presented on the example of iron ore mining and processing plants. Compatible intra-quarry dumping of overburden rocks with dry or significantly dehydrated beneficiation wastes has been proposed. At the same time, the tailings of the beneficiation, overburden and host rocks are deposited in layers in the quarries and ensure filling the voids between the pieces of overburden and host rocks. Significantly dehydrated enrichment waste is proposed to be obtained by thickening on shelf thickeners, followed by filtration on press filters. Dry tails can be obtained by switching from concentrators to the method of dry (anhydrous) grinding and enrichment of iron ore, which involves designing of a short one-stage technological scheme of grinding and enrichment of ferrous quartzites. The proposed technologies will significantly reduce electricity consumption, ensure the safe operation of tailing dumps, which will no longer be complex hydraulic structures. This will help to prevent pollution of water and surrounding areas, as well as the alienation of land.

Key words: quarrying waste, tailings, quarry, tailings pond, dry storage of tails, dehydration.