

© С.О. Жуков<sup>1</sup>, Ю.І. Григор'єв<sup>1</sup>, С.О. Луценко<sup>1</sup><sup>1</sup> Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПІДХОДІВ І ДОСВІДУ ВІДПРАЦЮВАННЯ ХВОСТОСХОВИЩ КРИВБАСУ

© S. Joukov<sup>1</sup>, Ju. Hryhoriev<sup>1</sup>, S. Lutsenko<sup>1</sup><sup>1</sup> Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

## ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL APPROACHES AND DEVELOPMENT EXPERIENCE OF KRYVBASS TAILINGS

**Мета.** Ускладнення умов ведення відкритих гірничих робіт і складні зовнішні фактори неодмінно призведуть у майбутньому до погіршення техніко-економічних показників розробки родовищ. Комплексне освоєння родовищ є одним з перспективних варіантів виправлення даної ситуації, а цілеспрямоване формування і відпрацювання техногенних родовищ – головним способом розширення мінерально-сировинної бази Кривбасу. Метою даної роботи є узагальнення досвіду розробки хвостосховищ Кривбасу і теоретичних підходів щодо формування схем комплексної механізації їх відпрацювання для подальшого створення наукового підґрунтя розширення сировинної бази Криворізького гірничо-видобувного комплексу.

**Методика.** В роботі використано методи аналізу та синтезу літературних джерел інформації при оцінці стану комплексного освоєння родовищ Криворізького регіону, ретроспективний аналіз проектних рішень щодо ПРАТ «Центральний ГЗК», інженерний аналіз – при оцінці схем комплексної механізації відпрацювання хвостосховища.

**Результати.** Виконано аналіз наукових джерел і оцінено стан комплексного освоєння родовищ Кривбасу. Встановлено накопичені обсяги відходів збагачення магнетитових кварцитів. Проаналізовано досвід розробки техногенних родовищ намивного типу, в ході проектного аналізу виявлено найбільш доцільні схеми комплексної механізації та параметри системи розробки хвостосховищ.

**Наукова новизна.** Проведений ретроспективний та інженерний аналіз проектних рішень дозволили виявити найбільш ефективні схеми комплексної механізації відпрацювання хвостосховища. Як найбільш доцільну в умовах ПРАТ «Центральний ГЗК» було обрано схему із використанням земснаряду з подальшим транспортуванням техногенної сировини землесосом на пульповід.

**Практична значимість.** Результати виконаних досліджень можуть бути використані проектними організаціями і гірничодобувними підприємствами при проектуванні формування і відпрацювання хвостосховищ.

**Ключові слова:** техногенне родовище, хвостосховище, земснаряд, схема комплексної механізації, комплексне освоєння родовищ корисних копалин.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Сукупність негативних зовнішніх факторів, що тривалий час супроводжують роботу вітчизняних гірничо-збагачувальних підприємств, призводить до постійного та всезростаючого відставання по розкривних роботах. Пояснюється це необхідністю скорочувати витрати на гірничі роботи шляхом концентрації потужностей на видобуток основної корисної копалини.

Однак у період активного відновлення економіки постане гостра потреба забезпечення гірничо-збагачувальних комбінатів сировиною. Наявних фронтів видобувних робіт в кар'єрах буде суттєво не вистачати для нормального забезпечення проектної продуктивності, а виконувати розкривні роботи в умовах дефіциту технічних засобів буде економічно і технологічно складніше. Аналогічна ситуація вже мала місце на гірничо-збагачувальних комбінатах Кривбасу: в результаті тривалого невиконання проектних об'ємів розкривних робіт в період 1988-2000 рр. мала місце суттєва нестача сировини для виробництва концентрату. Виконання значних обсягів розкривних робіт вимагало не тільки значних інвестицій, а й витрат часу, що в умовах циклічної економіки має надважливе значення [1].

Хоча закон України «Про надра» [2] серед основних принципів політики у сфері користування надрами спонукає користувачів надр до «раціонального, комплексного використання надр ... забезпечувати безпеку навколишнього природного середовища», а в Законі України «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року» [3] серед шляхів розв'язання існуючих економічних проблем значиться «впровадження раціональних способів розробки комплексних родовищ і вилучення супутніх компонентів» як одного з основних кроків, стан комплексного освоєння родовищ знаходиться на дуже низькому рівні. З українських надр щорічно видобувається більше 2 млрд. т гірської маси, 60-70% якої складається у відвали. В той же час рівень використання відходів виробництва сягає лише 12-15%, в той час як у передових країнах світу він досягає 80%. Тенденція використання вторинних ресурсів спостерігається в США, Японії, Канаді, Великобританії, Франції, Німеччині, ПАР та інших індустріально розвинутих країнах. Тим не менш, за різними оцінками, у відвалах та хвостосховищах Криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів міститься до 13 млрд. т розкривних порід та до 6 млрд. т відходів збагачення бідних залізних руд, а щорічний економічний збиток від забруднення навколишнього середовища оцінюється в 300 млн. доларів. При цьому більше половини обсягів відвалів гірничодобувних підприємств, 20% відходів збагачувальних фабрик і в повному обсязі відходи металургійної переробки гірничо-металургійного комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг» являють собою залізорудну сировину з показниками, що відповідають вимогам збагачувальних підприємств [4].

Зважаючи на вищевказане, питання аналізу досвіду формування і відпрацювання техногенних родовищ, які б розширили сировинну базу гірничо-видобувних підприємств, зберігає свою актуальність і потребує подальших досліджень.

**Аналіз досліджень та публікацій.** В роботах [5-7] досліджено питання комплексного освоєння техногенних родовищ, закладені основні терміни і поняття, запропоновано способи формування техногенних родовищ.

Окрім того, були виявлені методичні принципи цілеспрямованого формування техногенних родовищ із заданими параметрами [8], що можуть бути зведені до наступних положень:

1. Незалежне складування та відпрацювання тимчасово некондиційних руд і побіжних корисних копалин в просторі і часі (у відповідності до режиму гірничих робіт в кар'єрі і ринкової кон'юнктури);
2. Мінімальні площі відчужених земель;
3. Мінімальні обсяги об'ємів переєксквації при розробці техногенного родовища та зменшення кількісних і якісних втрат мінеральної сировини;
4. Мінімальні відстані транспортування тимчасово некондиційних руд та побіжних корисних копалин при складуванні і відпрацюванні техногенного родовища.

В роботі [9] наведена класифікація технологічних схем відпрацювання техногенних родовищ. При цьому за основну класифікаційну ознаку (поділ на класи) прийнято обводненість родовища. Далі за ієрархією класифікації (підкласами) пропонується способи розробки уступзабойним обладнанням в залежності від площадки його розміщення. На групи і підгрупи ділення технологічних схем пропонується за типом виймально-навантажувального і транспортного обладнання.

Якщо аналіз технологічних схем і досвіду відпрацювання «сухих» техногенних родовищ, тобто родовищ насипного типу, було ретельно розглянуто в попередніх дослідженнях [10], то в даній роботі проаналізуємо досвід відпрацювання наливних техногенних родовищ – хвостосховищ, оскільки їх відпрацювання суттєвим чином розширяють сировинну базу гірничо-видобувного комплексу Кривбасу. Так, за даними роботи [11], п'ять діючих гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу за час свого існування заскладували хвостів у своїх хвостосховищах: балка «Петрова» (Північний ГЗК) - 375 млн. м<sup>3</sup>; балка «Лозоватка» (Центральний ГЗК) – 246 млн. м<sup>3</sup>; «Войково» (Південний ГЗК) – 106 млн. м<sup>3</sup>; «Об'єднане» (Південний ГЗК, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») – 250 млн. м<sup>3</sup>; балка «Грушовата» (Південний ГЗК) – 19 млн. м<sup>3</sup>; «Миролобівка» – 105 млн. м<sup>3</sup>; «Миколаєвка» (Інгулецький ГЗК) – 283 млн. м<sup>3</sup>.

В таблиці наведені деякі параметри хвостосховищ Кривбасу [12].

Таблиця

Параметри хвостосховищ Кривбасу

Хвостосховище	Площа, га	Ємність, млн. м <sup>3</sup>	Річний обсяг хвостів, млн. м <sup>3</sup>
«Об'єднане»	350-550	320	6,5
Войкове	250	156,5	11,5
Хвостосховище ІнГЗК	-	379	4,52
«Миролобівка»	324	107	10,6
Хвостосховище ЦГЗК	-	290	7
Хвостосховище ПівнГЗК	1293	466	8,84

**Постановка задачі.** Зважаючи на суттєві запаси накопичених в процесі роботи гірничо-видобувних комбінатів хвостів збагачення магнетитових кварцитів,

а також з огляду на нестабільну економічну ситуацію в країні, необхідно підготувати теоретичне підґрунтя для промислового освоєння хвостосховищ Криворізького гірничо-видобувного комплексу. Для цього необхідно виконати аналіз і синтез досвіду розробки хвостосховищ і теоретичних підходів щодо формування схем комплексної механізації їх відпрацювання.

**Викладення матеріалу та результати.** За своєю структурою техногенне родовище намивного типу найбільше схоже на розсипне геогенне родовище, а тому і технологічні схеми його відпрацювання будуть подібними.

Аналізуючи техногенні родовища в контексті оптимізації функціонування регіонального гірничо-видобувного комплексу Кривбасу, розглянемо відпрацювання хвостосховища ПРАТ «Центральний ГЗК», створеного для утилізації відходів збагачення магнетитових кварцитів. З появою технологічної можливості вилучення з «хвостів» корисної копалини, проводилося її апробування на дослідно-промисловій ділянці хвостосховища відповідно до випущеного ДП «ДПІ «Кривбаспроект» у 2003 році «Проекту строительства опытно-промышленного участка по дообогащению железосодержащих песков хвостохранилища ЦГОКа». Відповідно до проектних рішень, відпрацювання хвостосховища передбачалося двома етапами із виділенням перших двох ділянок.

У 2011 році той же проектний інститут виконав проект «Строительство опытно-промышленного участка по дообогащению железосодержащих песков хвостохранилища. Корректировка частей проекта», де були виділені ділянки №3 та №4.

У 2013 році було виконане ще одне коригування із виділенням ділянки №5.

Відповідно до проекту, площі ділянок відпрацювання відсічені від діючого хвостосховища дамбами.

Тип хвостосховища за способом заповнення – намивний, за місцем розташування – балковий. Хвостосховище розташоване на двох відроггах балки Лозуватка з мінімальною відміткою тальвега 72,5 м. Балка пересипана зі східної та південної сторони відвалами розкривних порід №1, №2, №3 – упорними призмами (рис. 1).

Завдяки великій ємності хвостосховища і локалізації скидання пульпи у верхині балки, у хвостосховищі створилися сприятливі умови для гравітаційної диференціації твердої фази пульпи та утворення збагаченої залізом ділянки. По мірі зменшення швидкості руху потоку пульпи по поверхні хвостосховища, з неї випадають дедалі легші частки і вміст заліза в осаді падає. Крім цього, в процесі перебування хвостів у мінералізованій воді має місце мимовільне диспергування зросткової частини з рудних і нерудних мінералів. Це призводить до додаткового розкриття рудної фази і сприяє підвищенню ефективності класифікації хвостів. Таким чином у хвостосховищі утворилася збагачена залізом частка хвостів, придатна для отримання з них залізорудних концентратів та будівельних пісків.

По периметру хвостосховища середня відмітка гребеня становить 126,0 м. На внутрішню поверхню призм нанесений протифільтраційний екран із перезволоженого суглинку, відсипаного шарами великої товщини на етапі відвалоутворення. Максимальна висота огорожувальних дамб – 53,5 м.



Рис. 1. Топографічне розміщення хвостосховища ПРАТ «Центральний ГЗК»

Відпрацювання ресурсів залізовмісних пісків хвостосховища проводилося поетапно, під відпрацювання було виділено 5 ділянок (рис. 2):

- ділянка №1 площею 135 га з ресурсами 20899,0 тис. т.
- ділянка №2 площею 145 га з ресурсами 26293,3 тис. т.
- ділянка №3 площею 62,61 га (з урахуванням розбирання центральної дамби, залізовмісні піски вилучаються з площі 41,32 га) з ресурсами 8 513 тис. т.
- ділянка №4 площею 42,70 га (залізовмісні піски вилучаються з площі 27,14 га) з ресурсами 4 690 тис. т.
- ділянка №5 площею 65,82 га з ресурсами 20 540 тис. т.

Середній вміст  $Fe_{\text{общ}}$  змінювався в межах 18-22%, а вміст  $Fe_{\text{маг}}$  коливався в межах 5-8,4%. Річні обсяги видобутку хвостів сягали до 7 млн. т.

Розкриття ділянок з видобутку хвостів полягало у знятті верхнього шару потужністю до 1 м, що був засмічений рослинністю, за допомогою бульдозерів драглайнів і скреперів. Видобувні роботи виконувалися за різними технологічними схемами:

- 1) розмив рудоносних пісків здійснювався гідромонітором ГДУ-250, а у зумпфі було встановлено насос 12ГРТ-8, діаметр трубопроводу 320 мм, довжина – 550 м;
- 2) за допомогою драглайна ЕШ 4,5/70 рудоносні піски подавалися до зумпфу гідромонітора;

3) відпрацювання рудоносних пісків здійснювалося земснарядом 350-50 л з подальшим їх транспортуванням землесосом 2ОР-11М на пульповід діаметром 700 мм.

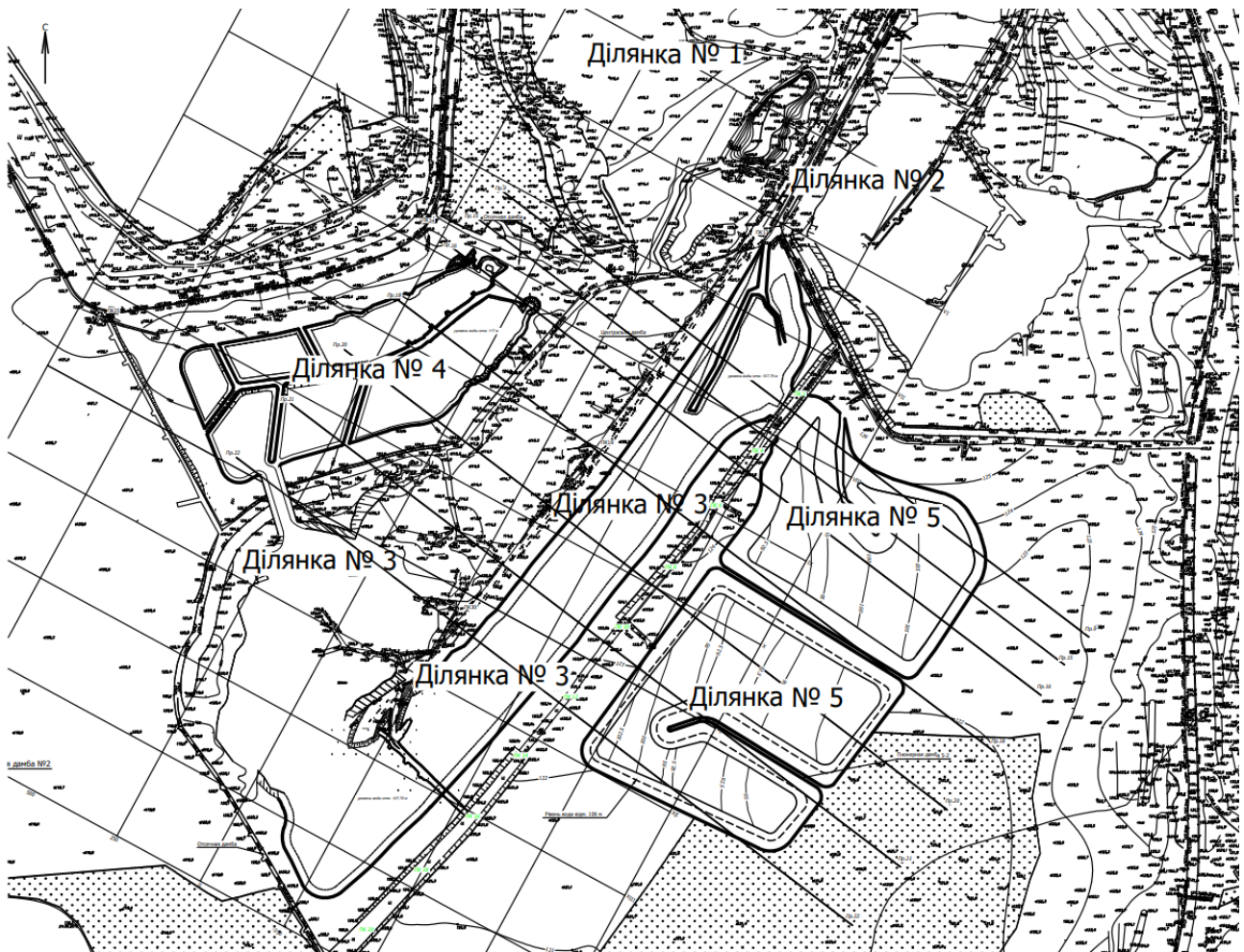


Рис. 2. План відпрацювання хвостосховища ПРАТ «Центральний ГЗК» із виділенням видобувних ділянок

Третя технологічна схема показала найкращі техніко-економічні показники і була застосована на останніх ділянках. Схема використання земснаряду наведена на рис. 3 і полягає в наступному. Земснаряд 1 при необхідності виконує підводне розпушення, пісок з водою засмоктується землесосом і по пульпопроводам 5 і 7 направляється на дозбагачення. Переміщення земснаряду виконується за допомогою лебідок і канатів, закріплених на якорях 2. По мірі відпрацювання заходки берегове з'єднання пульпопроводу 6 переміщується за земснарядом. Для монтажних робіт використовується плавучий кран 4, а для транспортування людей і вантажів – катер 3.

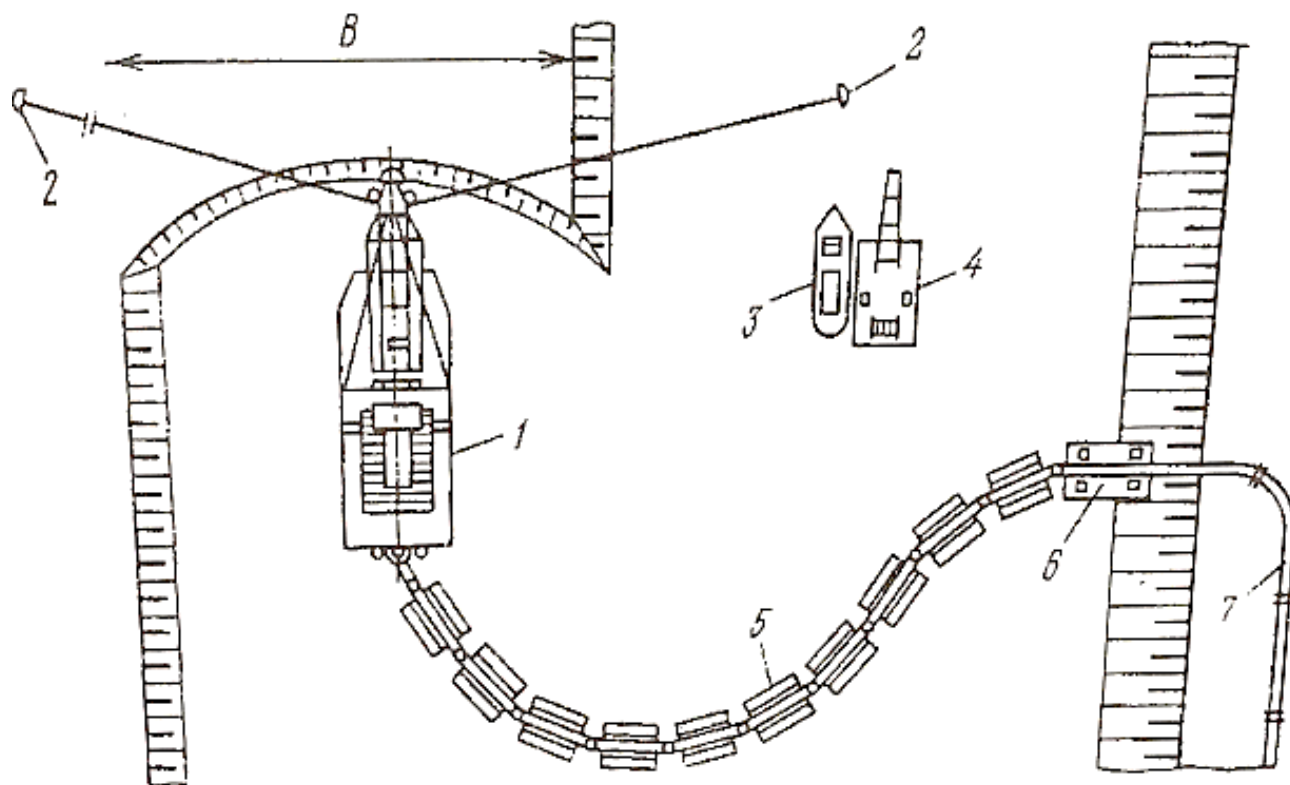


Рис. 3. Схема відпрацювання хвостосховища за допомогою земснаряду:  
 1 – земснаряд; 2 – якорі; 3 – катер; 4 – плавучий кран; 5 – плавучий пульпопровід;  
 6 – берегове з'єднання пульпопроводу; 7 – наземний пульпопровід

З метою безпеки ведення робіт розробка пісків має вестися на відстані не менше:

- від низового укосу гребель хвостосховища – 50 м;
- від осі розділових дамб хвостосховища – 73 м;
- від осі огорожувальної греблі хвостосховища – 150 м.

Кут укосу підводної частини уступу, що відпрацьовується земснарядами у стоячій воді, становить  $28^\circ$ . Кут укосу надводної частини уступу становить  $30^\circ$ . Витрата води розробки і транспортування  $1 \text{ м}^3$  хвостів становить  $6,5 - 8,5 \text{ м}^3$ .

Оптимальна ширина заходки за урізом води становить 26 м. Висота недобору пісків становить 2 м. Недобір пісків обумовлений технічними характеристиками земснарядів. При продуктивності земснаряду  $3800 \text{ м}^3/\text{год}$  допустима глибина розробки пісків становить 11 м, висота надводного вибою – 8 м. Відстань між розпушувачем і надводним вибоєм має бути не менше 25 м.

У зв'язку з тим, що ділянки хвостосховища, що розробляються, в подальшому можуть бути заповнені новими відходами збагачення, рекультивация ділянок після їх відпрацювання не виконувалася.

Порядок відпрацювання ділянок був організований наступним чином: земснарядом відпрацьовується перший шар хвостів на глибину, що не перевищує 11 м (загальна висота шару, що розробляється – 19 м) і по фронту на довжину до 200 м (довжина рифулерного трубопроводу). Після відпрацювання верхнього

шару у відпрацьованому просторі поступово знижується рівень води і відпрацьовується другий (нижній) шар хвостів. У цей час виконується будівництво піонерної дамби для наступного підключення земснаряду.

Після відпрацювання нижнього шару хвостів земснаряд під'єднують до нової точки підключення, в цей час поповнюється рівень води до необхідних позначок.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Таким чином, проаналізувавши стан комплексного освоєння родовищ Кривбасу та обсяги накопичених відходів збагачення магнетитових кварцитів, подальша розробка хвостосховищ вбачається найбільш перспективним і досяжним напрямком розширення сировинної бази регіону. Позитивний досвід відпрацювання хвостів збагачення ПРАТ «Центральний ГЗК» має бути використаний при розробці інших хвостосховищ Криворізького гірничо-видобувного комплексу.

Враховуючи короткі строки розкриття та простоту збільшення виробничої потужності при розробці хвостосховища, відпрацювання хвостів може бути впроваджено при нестачі видобувних потужностей в кар'єрах в періоди підвищеного попиту на продукцію гірничо-видобувних підприємств.

Подальші дослідження будуть направлені на вдосконалення технологічних схем відпрацювання хвостосховищ та їх класифікації.

#### Перелік посилань

1. Пижик, М.М. & Григор'єв, Ю.І. (2013). Дослідження впливу динаміки ціни товарної продукції на пріоритет видобування видів корисних копалин при комплексному освоєнні родовищ. *Вісник Криворізького національного університету*, 34., 266-270.  
[http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu\\_2013\\_34\\_72](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu_2013_34_72)
2. Про надра : Закон України. (1994). *Відомості Верховної Ради України*, 36.
3. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року : Закон України (2012). *Відомості Верховної Ради України*, 44.
4. Колесников, Д.В., Короленко, М.К., Ступник, Н.И., Удод, Е.Г., Протасов, В.П., & Олейник, Т.А. (2012). *Повышение извлечения железа за счёт переработки сырья техногенных месторождений Кривбасса*. Дионис.
5. Темченко, А.Г. (2000). *Ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва*. «Мінерал».
6. Трубецкой, К.Н., & Шапарь, А.Г. (1993). *Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений*. «Недра».
7. Шапарь, А. Г., Краснопольский, И. А., & Копач, П. И. (1992). *Ресурсосбережение в технологических процессах открытой разработки полезных ископаемых*. Наукова думка.
8. Григор'єв, І.Є. (2014). Визначення основних методичних принципів ціленаправленого формування техногенних родовищ при комплексному освоєнні надр. *Гірничий вісник : наук.-техн. збірник*, 97, 267–271.
9. Шапарь, А.Г., Вилкул, А.Ю., Копач, П.И., & Якубенко, Л.В. (2012). *Формирование и разработка техногенных месторождений железных и марганцевых руд*. Монолит.
10. Григор'єв І.Є., Григор'єв Ю.І., Усачов В.Е., & Євтушенко М.С. (2018). Технологія відпрацювання техногенного родовища відкритими рудоскатами. *Збірник наукових праць НГУ*, 56, 18-28.  
<http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/153977>
11. Копач, П.И., Якубенко, Л.В., Романенко, В.Н., Шматков, Г.Г., Чихрадзе, Н.М., Хомерики, С.К., Михельсон, Р.В., & Матарадзе, Е.Д. (2013). Перспективы вовлечения в эксплуатацию техногенных месторождений (на примере Украины и Грузии). *Екологія і природокористування*, 16, 210-217.



12. Медведева, О.А. (2012). Хвостохранилища Кривбасса, проблемы и особенности их эксплуатации. *Геотехническая механика*, 103, 279-285.

#### ABSTRACT

**Purpose.** Complication of the conditions of conducting open-pit mining operations and complex external factors will certainly lead to the deterioration of technical and economic indicators of deposit development in the future. The complex development of deposits is one of the promising options for correcting this situation, and the purposeful formation and development of man-made deposits is the main way of expanding the mineral and raw material base of Kryvbas. The purpose of this work is to generalize the experience of developing Kryvbas tailings and theoretical approaches to the formation of schemes for complex mechanization of their processing for the further creation of a scientific basis for the expansion of the raw material base of the Kryvorizka mining complex.

**Methodology.** The work uses the methods of analysis and synthesis of literary sources of information when assessing the state of complex development of deposits in the Kryvyi Rih region, retrospective analysis of project decisions regarding PRJSC "Central GZK", engineering analysis - when assessing the schemes of complex mechanization of tailings storage facility.

**Results.** The analysis of scientific sources was carried out and the state of complex development of deposits of Kryvbas was assessed. Accumulated volumes of magnetite quartzite dressing waste have been determined. The experience of the development of man-made deposits of the alluvial type was analyzed, during the design analysis the most appropriate schemes of complex mechanization and the parameters of the tailings storage development system were identified.

**Scientific novelty.** The conducted retrospective and engineering analysis of design solutions made it possible to identify the most effective schemes for complex mechanization of tailings disposal. As the most expedient in the conditions of PRSC "Central GZK" was chosen a scheme using a dredger with subsequent transportation of man-made raw materials to the pulp farm.

**Practical significance.** The results of the performed research can be used by design organizations and mining enterprises when designing the formation and development of tailings storage facilities.

**Keywords:** *man-made deposit, tailings storage facility, dredger, scheme of complex mechanization, complex development of mineral deposits.*