

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

МОГИЛЕВСЬКИЙ АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

**Аналіз відкритої технології відпрацювання родовищ корисних
копалин з використанням виробленого простору**

184 Гірництво
(ОПП «Відкриті гірничі роботи»)

Випускна робота
на здобуття рівня вищої освіти «магістр»

Керівник Анатолій ПИЖИК / _____ /

Завідувач кафедри Сергій ЖУКОВ / _____ /

Кривий Ріг

2024

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	5
1. ПЕРЕДУМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВНУТРІШНЬОГО ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ	7
1.1. Економічні передумови	7
1.2. Технологічні передумови	11
1.3. Екологічні передумови	13
2. РОЗВИТОК НАУКОВОЇ ДУМКИ У ПИТАННІ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ	19
3. ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ	34
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ	45
СПИСОК НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	48

РЕФЕРАТ

Могилевський А.О. Аналіз відкритої технології відпрацювання родовищ корисних копалин з використанням виробленого простору. Випускна роб. на здоб. другого (магістерського) рівня вищої освіти - Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2024. – 51 с.

Загальна характеристика роботи. Структура кваліфікаційної роботи: вступ, в якому окреслено актуальність досліджуваного питання, основна частина, яка складається з трьох розділів, та розкриває послідовність вивчення стану науки та практики з досліджуваного питання, висновки та рекомендацій щодо подальших досліджень, перелік використаної літератури. Загальний обсяг роботи становить 51 сторінка, серед них 2 таблиці, 19 рисунків, список науково-технічної літератури – 35 найменувань.

Мета роботи полягає у систематизації наукових досліджень з питання використання виробленого простору при відкритій технології розробки родовищ, закріплення та розширення теоретичних знань і практичних навичок, отриманих під час навчання в магістратурі, формулювання наукових висновків та рекомендацій за темою дослідження.

Мета дослідження дозволяє окреслити основні **завдання дослідження**:

- Проаналізувати наукові джерела, які містять інформацію щодо факторів, які спричиняють необхідність застосування технологій з використанням виробленого простору при відкритій розробці родовищ.
- Проаналізувати наукові джерела, які описують технологічні схеми з використанням виробленого простору.
- Ознайомитись з практикою використання виробленого простору на відкритих розробках.

Об'єктом дослідження є технологічні схеми відкритої розробки родовищ.

Предметом дослідження є вироблений простір кар'єрів та можливості його застосування при відпрацюванні родовищ корисних копалин.

Методи дослідження – системний аналіз інформації науково-технічної літератури у питанні використання виробленого простору на відкритих розробках.

У **вступі** актуалізується питання, яке буде досліджуватись в рамках виконання магістерської роботи, зазначаються вчені, які працювали та працюють в даному напрямку.

Основна частина роботи складається з трьох частин. Перша частина присвячена огляду науково-технічної літератури щодо передумов, які визначають необхідність та доцільність застосування технологій внутрішнього відвалоутворення при відкритій розробці родовищ корисних копалин. Друга частина присвячена вивченню теоретичних досліджень науковців різних років, які містять опис технологічних схем внутрішнього відвалоутворення, їхніх особливостей, сфери та перспектив застосування. Третя частина містить опис практики застосування технології внутрішнього відвалоутворення на різних родовищах, в тому числі і Кривбасу.

У **висновках** сформульовані основні результати магістерської роботи. **Рекомендації щодо подальших досліджень** містять актуальні, на думку автора, напрямки продовження вивчення даної теми.

Ключові слова: внутрішнє відвалоутворення, ресурсозберігаюча технологія, економічний ефект, етапи ведення гірничих робіт.

ВСТУП

XXI століття характеризується продовженням тенденції до зростання світового населення та виробництва. Це зумовило збільшення масштабів світового видобутку сировини, що досягла 200 млрд. т на рік. Потреба у мінеральній сировині подвоюється приблизно кожні десять років, де вартість мінеральної сировини становить близько 70% усіх природних ресурсів. Гірнична промисловість є основою сучасної економіки країн та забезпечує безпосередньо 4% і побічно 8% національного доходу та зайнятості у промислово-розвинених країнах. У країнах, що розвиваються, ця галузь є найпершим джерелом зайнятості, індустріалізації та доходу.

Видобуток та переробка мінеральної сировини є найбільш ресурсоємних галузей промисловості. За умов планової економіки на створення виробничих ресурсів у сировинній галузі промисловості витрачалось близько 40% капітальних вкладень, передбачених для промисловості в цілому.

Становлення сировинної бази України швидкими темпами відбувалось з початку XX століття та орієнтація була на відкритий спосіб видобутку, що було зумовлено високою продуктивністю, більшою безпечністю робіт та меншою собівартістю видобутку корисних копалин.

Сучасна гірнична галузь з відкритим способом видобутку характеризується наступними показниками:

- 90% гірської маси відкритим способом, 10% - інші способи видобутку.
- Обсяги вилученої з надр та переміщеної гірської маси сягають тисяч млрд.т.
- Глибина залізородних кар'єрів – більше 300-400 м, перспектива – більше 700 м.
- До 45% у структурі земельного відводу гірничо-видобувного підприємства займають внутрішні відвали.

- Витрати на відвалоутворення складають 12-25% від собівартості розкриву.

Аналіз цих цифр красномовно говорить про значні обсяги гірської маси, яка вилучається з надр, а значна її частина переміщується у відвали, які займають до половини площі гірничого відводу. Якщо перспективно визначено, що глибина кар'єрів буде дедалі збільшуватись, то обсяги розкривних порід зростатимуть та потребуватимуть нових площ під розміщення. Погіршення гірничо-геологічних умов ведення відкритих гірничих робіт, збільшення глибини кар'єрів та значний накопичувальний ефект відходів гірничого виробництва призводить до зростання ресурсоемності відкритого способу видобутку.

Все це викликає цілий ряд проблем, які потребують вирішення: економічні проблеми, пов'язані із збільшенням відстаней транспортування розкриву, екологічні проблеми, пов'язані із значною землеємністю відвалоутворення, тощо. В умовах збільшення потреб у мінерально-сировинних ресурсах, проблема дбайливого ставлення до багатств надр і комплексного їх використання разом з охороною навколишнього середовища в умовах існуючих масштабів виробництва набуває глобального значення і з часом ставатиме все гострішою.

Досліджуване питання розглядалася в роботах таких вчених як А.Ю. Дриженко, А.Г. Шапар, В.І. Симоненко, О.В.Романенко, Є.Ф.Шешко, О.О.Анісімов, В.Г.Пшеничний, Г.Г.Саканцев та інших.

1.ПЕРЕДУМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВНУТРІШНЬОГО ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ

1.1. Економічні передумови

Гірничодобувна промисловість України останніми десятиліттями характеризується постійним підвищенням трудомісткості та собівартості видобутку мінеральної сировини. Це пов'язано, в першу чергу з виснаженням запасів більшості розвіданих родовищ, які характеризувалися сприятливими гірничо-геологічними та гірничотехнічними умовами. Родовища та поклади корисних копалин, які розташовані близько від поверхні землі, а також верхні горизонти глибокозалягаючих родовищ відпрацьовані та виникла необхідність відпрацювання більш глибоких горизонтів родовищ, а також освоєння бідних родовищ і покладів, що залягають на значних глибинах. У 50-х - 70-х років ХХ століття майже щорічно вводилися в експлуатацію гірничо-збагачувальні комбінати, річні обсяги видобутку яких сягали десятки мільйонів тон, то приблизно з середини 80-х років, у міру поглиблення гірничих робіт, погіршення гірничотехнічних умов та загальної економічної ситуації постало питання про необхідність корінного перегляду підходів до проектування та експлуатації глибоких кар'єрів [17].

Після розпаду СРСР країни, які входили до його складу, опинились у вкрай скрутному становищі, в тому числі і Україна. Гірничі підприємства змушені були переорієнтувати з планової економіки на ринкову. Це відбувалось в умовах майже повної відсутності інвестицій. Саме тоді технології з використанням виробленого простору набули актуальності, оскільки дозволяли підвищити техніко-економічні показники роботи підприємств. У 90-і роки деякі гірничі підприємства показали зростання долі застосування технології внутрішнього відвалоутворення подекуди у 2,5 рази, що становило в середньому 52% від загальних об'ємів відвалоутворення [34].

Автори підручника наводять показники, яких змогли досягнути деякі підприємства вугільної галузі при переході на технологію внутрішнього відвалоутворення вже за декілька років:

1. Зменшили питомий вантажообіг при видобутку 1 т корисної копалини для автотранспорту з 27,2 т*км/т до 24,6 т*км/т, тобто на 11%.
2. Зменшили відстань транспортування порід автотранспортом з 2,7 км до 2,4 км, тобто на 11%, не зважаючи на збільшення глибини кар'єрів.
3. Знизили поточний коефіцієнт розкриву з 7 м.куб/т до 6,4 м.куб/т, тобто на 9% при деякому погіршенні гірничо-технічних умов розробки.

Сьогодні жорстка конкуренція на ринку корисних копалин зумовлює постійний пошук рішень, які допоможуть не те щоб знизити собівартість видобутку, а хоча б залишати його на конкурентному рівні. Саме тому виробничники шукають підходи до реалізації технології відкритих гірничих робіт, які спрямовані на досягнення гарних економічних показників роботи підприємства. При цьому слід зазначити, що умови роботи сучасних кар'єрів, зокрема у Кривбасі, погіршуються з року в рік. Це пов'язано в першу чергу зі значними глибинами видобутку, оскільки кар'єри почали розробляти у 50-60 роках минулого століття, отже близько 70 років. За цей час кар'єри досягли глибин у 300-400 м, збільшується плече відкатки корисних копалин та розкривних порід, що негативним чином позначається на собівартості процесів та кінцевої продукції комбінатів. Політична та економічна ситуація в нашій країні також не сприяють розвитку галузі, інвестиціям, переозброєнню виробництва. Зростання цін на енергоносії ще більше поглиблюють негативні процеси.

Автори [25] зазначають, що видобуток корисних копалин відкритим способом на крутоспадних родовищах здійснюють за технологіями, що реалізують принцип повного видалення з кар'єру вміщуючих порід та розміщення їх у зовнішніх відвалах. При цьому витрати на переміщення та розміщення породи у зовнішньому відвалі досягають 70-80% від всіх витрат виробництва розкривних робіт. При високих значеннях коефіцієнта

розкриття (більше 1), що характерно для родовищ кольорових металів, це дуже суттєва стаття витрат у структурі собівартості видобутку корисної копалини.

Одним з вдалих рішень, які зменшують собівартість процесу відвалоутворення є формування внутрішніх відвалів. Аналіз літературних джерел за даною темою [3, 5, 10, 17, 18, 24, 31] дозволяє констатувати факт, що важливою перевагою технології внутрішнього відвалоутворення є зменшення відстаней транспортування розкриву.

Так, у статті [10] зазначається, що при досягненні кар'єрами значних глибин (для крутоспадних покладів) та в зв'язку з цим значному зростанні відстаней транспортування гірської маси, гостро постає необхідність зниження витрат на видобуток руди, в структурі яких значну частку становить переміщення розкриву. Одним з шляхів зниження витрат на видобуток руди поряд із різними технологічними прийомами, застосовується технологія внутрішнього відвалоутворення з формуванням тимчасового або постійного внутрішнього відвалу розкривних порід із консервацією частини борту кар'єру. Така технологія дозволяє суттєво скоротити відстані транспортування розкриву та знизити собівартість видобутку руди навіть у випадку, якщо буде застосовано технологію переєкскавації розкривних порід з тимчасового відвалу у постійний.

Автори [24], спираючись на багаторічну практику зазначають, що розміщення розкривних порід у зовнішніх відвалах надмірно здорожчує видобуток корисних копалин внаслідок постійного збільшення відстаней транспортування порід у міру поглиблення кар'єрів, а також вимагає значної грошової компенсації за порушення земель та пилогазове забруднення атмосфери. При цьому розміщення розкриву у внутрішніх відвалах дозволяє істотно зменшити відстань транспортування та екологічне навантаження на довкілля, значною мірою знизивши при цьому витрати на розкривні роботи.

Наприклад, у роботі [5] наводяться залежності відстаней транспортування від глибини кар'єру при зовнішньому та внутрішньому

відвалоутворенні для трьох родовищ (Ганнівського, Лебединського та Лавриківського) (рис.1). Ми бачимо, що для всіх трьох кар'єрів відстані транспортування зростають значною мірою у випадку зовнішнього відвалоутворення. Якщо говорити про Ганнівський кар'єр, то зміни у глибині кар'єру від 300 до 390 м призводять до зростання відстані транспортування розкриву майже на 3 км. Така ж тенденція і в інших кар'єрах. У випадку внутрішнього відвалоутворення зростання глибини кар'єру з 400 м до 600 м призведе до збільшення відстаней транспортування розкриву на 1 – 1,5 км.

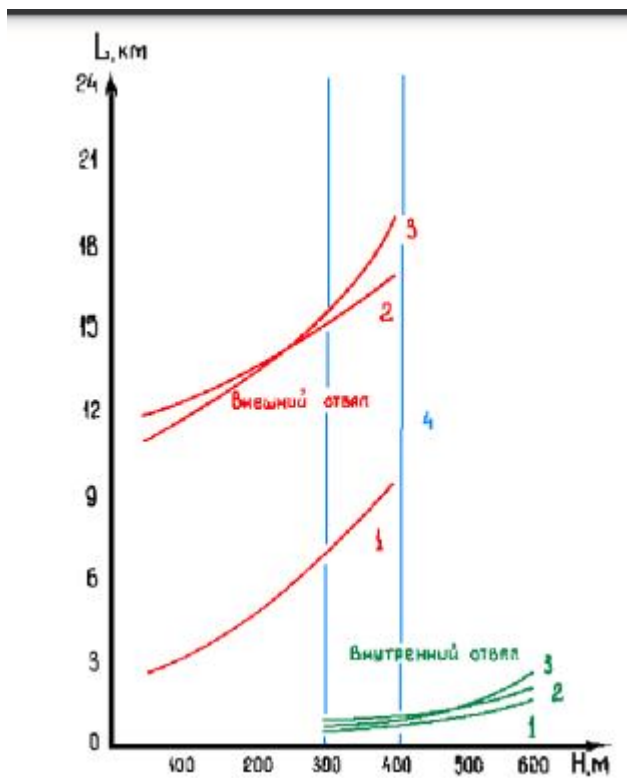


Рис. 1. – Зміни у відстанях транспортування розкривних порід на зовнішній та внутрішній відвал для 1 - Ганнівського, 2 - Лебединського та 3 - Лавриківського кар'єрів

Також у роботі [5] наводяться деякі економічні показники внутрішнього та зовнішнього відвалоутворення, які ми можемо проаналізувати. Так, приведені транспортні витрати на перевезення розкриву від вибою до відвалу становлять 5,96 грн/м.куб. та 0,92 грн/м.куб. відповідно для зовнішнього та внутрішнього відвалоутворення за цінами 2010 року. Висновок очевидний: приведені транспортні витрати у 6,5 разів більші у випадку із зовнішнім відвалоутворенням. Приведені витрати на відвалоутворення за способом механізації відповідно 0,86 грн/м.куб. та 0,42 грн/м.куб., тобто у 2 рази більші у випадку зовнішнього відвалоутворення. В

якості прикладу наводиться величина річної економії коштів при складуванні 2,5 млн.м.куб. розкриву у внутрішній відвал Глеюватського кар'єру ЦГЗК – 12,02 млн.грн. за цінами 2010 року, що становить майже 1,5 млн.доларів за тогочасним курсом.

За даними [31] внутрішнє відвалоутворення у кар'єрі дозволяє в 3-5 разів скоротити відстань транспортування розкривних порід автомобільним транспортом, а також зменшує витрати на подальшу рекультивацію.

Досліджуючи можливості реалізації внутрішнього відвалоутворення на нерудних кар'єрах, автор [26] наводить цікаві дані: виявляється економічна складова як зовнішнього, так і внутрішнього відвалоутворення в проаналізованих кар'єрах зіставна. Так, ним було досліджено близько 6 десятків кар'єрів, та наводиться собівартість розробки, перевезення та відвалоутворення 1 м.куб розкриву при зовнішньому та внутрішньому відвалоутворенні: 1,4 та 1,32 грн/м.куб; 3,45 та 3,25 грн/м.куб; 0,75 та 0,75 (спостерігається у 10 досліджуваних кар'єрів) відповідно. Як бачимо, різниця між собівартостями або ж незначна, або ж навіть така ж. Це пов'язано із застосуванням при розробці нерудних родовищ незначної глибини без транспортних систем розробки, які передбачають пер екскавацію розкривних порід, а це призводить до здорожчання собівартості розробки.

Отже, аналізуючи наукові джерела з досліджуваного питання доходимо висновку, що економічні передумови впровадження технології внутрішнього відвалоутворення є найбільш вагомими та пов'язані з необхідністю підприємств конкурувати на сировинному ринку в умовах, коли систематично погіршуються умови видобутку корисних копалин.

1.2. Технологічні передумови

Аналіз наукових джерел показує, що здебільшого автори серед передумов до застосування технології внутрішнього відвалоутворення зазначають економічні показники розробки та екологічні проблеми. Технологічні передумови проявляються в наступному.

На думку [18] технологія внутрішнього відвалоутворення дозволяє збільшити швидкість автосамоскидів на 20-30% за рахунок зменшення довжини підйомних шляхів, підвищити концентрацію гірничих робіт та обладнання.

Автори [28] вважають, що окрім економічного та екологічного ефекту технологія внутрішнього відвалоутворення чинить вплив і на технологію відкритих гірничих робіт. В умовах поетапного розвитку глибоких кар'єрів внутрішні відвали дозволяють прискорити інтенсивність поглиблення гірничих робіт, забезпечити повноту виїмки запасів, а також виступають як спосіб «довантаження» бортів у кінцевому положенні, даючи можливість повніше використовувати їхню природну несучу здатність.

Автори [31] стверджують, що внутрішнє відвалоутворення сприяє підвищенню стійкості завантажених бортів кар'єру. Крім цього, часткове засипання кар'єру спрощує та зменшує витрати на подальшу рекультивацію кар'єру.

Автори [35] зазначають, що в останні десятиліття спостерігається тенденція скорочення площ під відвали за рахунок впровадження високих (від 100 до 300 м) та надвисоких відвалів (понад 300 м). Такі рішення призвели до створення найскладніших відвальних природно-технічних систем, рекультивація яких не може бути виконана стандартними способами. Збільшення висоти зовнішніх відвалів призводить до зміни напруженого стану порід під дією зростаючого навантаження від ваги відвального масиву. При збільшенні нормального навантаження відбувається руйнування та ущільнення відсипаного матеріалу, що супроводжується зміною гранулометричного складу відвальних порід, їх фізико-механічних та водних властивостей, зокрема, пористості та проникності до значень, що уповільнюють відтік води із відвалу. Зниження проникності сприяє формуванню у масивах техногенного водоносного горизонту. При цьому у відкосних частинах відвалу з'являються додаткові сили, що знижують коефіцієнт запасу стійкості, а саме: гідростатичне зважування та

гідродинамічний тиск. Ще однією гідродинамічною особливістю формування внутрішніх відвалів на слабкій основі є утворення у відвальному масиві надлишкового порового тиску, який створюється у результаті впливу ваги відсипаної породи на водонасичений слабопроникний породний масив. При інтенсивному відсипанні відвалу утворений в породах основи надлишковий поровий тиск не розсіюється повністю і при подальшому навантаженні продовжує накопичуватися до деяких критичних величин, за яких відбувається порушення стійкості укосу формованого відвалу.

Отже, серед технологічних передумов можемо виділити кращі можливості для рекультивації відвалів при внутрішньому відвалоутворенні, необхідність покращення показників роботи кар'єрного транспорту, а також геомеханічну складову технології відкритих гірничих робіт, яка проявляється у надмірному навантаженні від високих зовнішніх відвалів на борти кар'єрів та у проблемах створення високих зовнішніх відвалів при зменшенні відчуження земельних площ.

1.3. Екологічні передумови

Нині дуже гостро постають екологічні проблеми, пов'язані з діяльністю людини. З року в рік зростає антропогенне навантаження на довкілля, і особливо гостро це відчувається в промисловості, в тому числі і видобувній. Відкрита розробка корисних копалин пов'язана з відчуженням значних площ сільськогосподарських угідь, порушенням природного ландшафту, негативним впливом на повітряний та водний басейни.

Позитивним моментом є той факт, що сучасне природоохоронне законодавство більш жорстке та вимагає дбайливого ставлення до природних ресурсів. Сучасний видобуток корисних копалин має бути менш землесмним, тобто витрата земельних ресурсів на одиницю видобутої корисної копалини має бути мінімальним. Цій вимозі найбільше відповідає використання виробленого простору у якості місця розміщення розкривних порід та відходів збагачення.

Наприклад, на думку авторів [18] у порівнянні з технологією зовнішнього відвалоутворення внутрішнє відвалоутворення на 30-40% дозволяє скоротити площі порушуваних відкритими розробками земель, забезпечити проведення рекультивації у більш ранній період освоєння родовища, існує можливість відновити рельєф. Такої ж думки й автори [31], які вважають що внутрішнє відвалоутворення дозволяє відмовитися від систематичного порушення земельних площ зовнішніми відвалами.

Досліджуючи можливості реалізації внутрішнього відвалоутворення на нерудних кар'єрах, автор [26] наводить такі дані щодо вивільненого земельного фонду при реалізації технології внутрішнього відвалоутворення: від 10 до 285 га в залежності від розмірів кар'єру та обсягу розкривних порід.

Автори статті [17] також вважають, що традиційні технології зовнішнього відвалоутворення шкодять довкіллю. На їхню думку розміщення розкривних порід на земній поверхні є шкідливим, особливо сільського господарства. Велику небезпеку для навколишнього середовища становлять відвали підприємств з видобутку руд кольорових металів, зокрема, відвали, що містять сульфідні породи. Атмосферні опади, просочуючись через відвали сульфідних порід, збільшують їх кислотність, відбувається збагачення залізом, міддю, нікелем, кальцієм, сульфідами, все це розноситься по навколишніх водоймах. Сульфідною мінералізацією, зокрема, значною мірою «заражені» відвали розкривних порід мідноколчеданних родовищ. Згодом у відвалах розвиваються окислювальні процеси і відбувається природне вилуговування сульфідів та інших шкідливих для природи компонентів [17].

Такої ж думки і автори статті [19]. Вони зазначають, що видобуток корисних копалин відкритим способом призводить до формування складної екологічної ситуації, яка полягає у трансформації природних ландшафтів та їх компонентів, утворенні техногенних та природно-техногенних форм рельєфу у вигляді зовнішніх відвалів, в навколишнє середовище надходять хімічні елементи та сполуки не властиві їй, а головне, під техногенні об'єкти

– відвали та терикони вилучають значні території родючих земель. Автори наводять дані, що наприклад більше 70% порід, які містяться у териконах, складають глинисті аргіліти, які здатні затримувати важкі метали (Li, V, B, P, Zn, Pb, Bi, Co), а в результаті високого вмісту сульфідної сірки (піриту) – Hg та As. Великий вміст сірки у породних відвалах сприяє формуванню ореолів кислих вод у підніжжях териконів [19].

Породні відвали, окрім хімічного забруднення навколишніх ґрунтів, забруднюють також атмосферне повітря і водні ресурси. Шкідливі компоненти розкривних відвальних порід видуваються вітрами і вимиваються з відвалів дощовими потоками та талими водами, призводять до забруднення не тільки ґрунтів, атмосфери, а й водних об'єктів регіону видобування [19].

Автори [22] наводять наступні дані, що зовнішні відвали гірських порід є джерелом пиловиділення та стоків, а також вилуговування. За добу з 1 га їхньої поверхні здувається 35 кг пилу, який поширюється на 1-2 км від периметра відвалу. Крім того наводяться дані щодо збільшення обсягів розкривних порід, які потребують укладання у відвали: обсяги в найближчі 15–25–40 років послідовно зростуть до 170, 230 та 320 млн м³. У планованій перспективі обсяг порушуваних тільки родючих земель багаторазово збільшиться і досягне 3,5-4 млрд. м².

Автор [29] зазначає, що проведений ним аналіз даних свідчить, що пиління техногенних масивів займає велику частку у забрудненні навколишнього середовища (близько 80%). Серед техногенних масивів найбільший вплив на забруднення атмосфери надають зовнішні відвали розкривних порід. До того ж, на гірничих підприємствах з відкритим видобутком відвали порожньої породи займають досить великі площі, при цьому на великих підприємствах сумарна площа вилучених земель під складування розкриву може сягати 654,2 га.

За даними [23] частка забруднення повітря від відвалоутворення складає близько 7% від суми всіх викидів від технологічних процесів.

Значним джерело забруднення кар'єрної атмосфери є автотранспорт, а якщо при застосуванні внутрішнього відвалоутворення відбувається зменшення відстаней транспортування та кількості самоскидів для перевезення порід, то викидів стає менше [34].

Дослідженнями [19] встановлено, що породні відвали є одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища, оскільки за показником флюктууючої асиметрії, що характеризує якість довкілля, вони мають найвищий V бал, що означає "значне відхилення від норми". Відповідно до результатів цитогенетичної оцінки [19] повітряного басейну, у зоні впливу породних відвалів, рівень пошкодження біоіндикаторів визначений як "середній", а екологічна ситуація як "помірковано небезпечна". В якості рішення даних проблем автори пропонують впроваджувати в технологічний процес видобутку корисних копалин сучасні технології, основані на повній чи частковій закладці породи у відпрацьований простір кар'єру.

Автори монографії [21] проводили комплексне дослідження, яке виявило значний негативний вплив відкритої розробки на довкілля. Серед іншого мова йде і про зовнішні відвали. Так, наприклад у структурі пилових викидів в атмосферу серед організованих та неорганізованих джерел, 11% доводиться на відвали пухкого та скельного розкриття. Даний показник посідає третє місце після складів окатків (25,9%) та хвостосховищ (21,45%).

Комплексне дослідження по впливу відвалоутворення на довкілля проводили і автори [34]. Протягом 5 років вони здійснювали збір інформації щодо змін, які відбуваються, при частковому переході підприємства на внутрішнє відвалоутворення. Вони оцінювали декілька показників (таблиця 1).

Автор статті [33] констатує, що необхідність вирішення проблеми формування внутрішніх відвалів стала особливо актуальною в останні роки у зв'язку з погіршенням якості природної мінеральної сировини і, як наслідок

цього, збільшенням кількості відходів, а також через загрозу екологічного лиха у промислово розвинених регіонах.

Таблиця 1

Показник	Початок періоду	Кінець періоду	Зміни
Площа порушуваних земель	300 га/рік	170 га/рік	Зменшилась на 76%
Питома землесміність	12 га	5 га	Зменшилась в 2,4 рази
Витрати палива на 1 м.куб гірської маси	0,69 кг	0,6 кг	Знизилась на 15%
Питомий об'єм викидів від технологічного транспорту на 1 м.куб гірської маси	2,42 ум.т.	2,1 ум.т	Знизилась на 15%
Об'єм складування порід у внутрішні відвали	55 млн.м.куб/рік	70 млн.м.куб/рік	Збільшилась на 27%
Платежі, в тому числі за:	391,2 грош.од/т	263,5 грош.од/т	Зменшились на 48%
Розміщення відходів	290,9 грош.од/т	196 грош.од/т	
Скид забруднюючих речовин у водойми	58,3 грош.од/т	39,3 грош.од/т	
Викиди в атмосферу	42 грош.од/т	28,2 грош.од/т	

У зовнішніх відвалах, у шламонакопичувачах та хвостотримувачах вже зараз накопичено понад сотні млрд. т лише твердих відходів. Під полігони тільки твердих побутових відходів, що становлять приблизно 1% від загальної кількості відходів, що утворюються, відчужується десятки тисяч га придатних для використання земель. Дані відходи в ряді випадків високотоксичні або навіть радіоактивні, що негативно позначається на стані навколишнього середовища та здоров'я населення, що живе на прилеглих територіях. Наприклад, для одних корисних копалин, найдешевших, на 1 т видобутої мінеральної сировини припадає менше 1 т порожніх порід (коефіцієнт розкриття складає менше 1). А от при видобутку золота це співвідношення становитиме кілька грамів на 1 т порожніх порід. Таким чином, накопичується величезна маса незатребуваних порід, які

транспортують у відвали, які займають десятки та сотні тисяч гектарів придатної для сільського господарства землі [33].

Слід зазначити, що останні два-три десятиліття чинник екології став одним з найбільш важливих при проєктуванні кар'єрів, зокрема й технології відвалоутворення, і що вимоги екологічної безпеки істотно впливають на динаміку формування відвалу, темпів вилучення та рекультивації земель.

Отже, розвиток відкритих гірничих робіт в світі багато десятиліть відбувався переважно в інтенсивному або ж кількісному відношенні, яке дотепер значною мірою себе вичерпало внаслідок виснаження сировинних ресурсів, підвищення вимог до повноти їх використання та збереження навколишнього середовища. Наступним «розумним» етапом має стати переважно екстенсивний або ж якісний розвиток з переходом на ресурсозберігаючі, ощадливі, маловідходні та природоохоронні технології, серед яких має стати технологія внутрішнього відвалоутворення.

2. РОЗВИТОК НАУКОВОЇ ДУМКИ У ПИТАННІ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ

Ідея використання виробленого простору кар'єрів для розміщення розкривних порід з'явилась ще на початку становлення гірничої науки в колишньому СРСР. Вперше її висловив видатний вчений та педагог Є.Ф.Шешко, його дослідження лягли в основу технології розробки синклінальних складок Кузбасу з розташування фронту гірничих робіт вхрест простягання шарів, що дало змогу розташовувати розкрив у виробленому просторі кар'єру.

В статті [1] автор наводить класифікацію відвалів при відпрацюванні кар'єрів. Він зазначає, що внутрішнє відвалоутворення може відбуватись стаціонарно або ж потребувати перевалки порід та їх тимчасового укладання до того, як вони будуть розміщені у внутрішньому відвалі. При проєктуванні відвалоутворення конкретного кар'єру визначаються можливість, доцільність та оптимальні параметри внутрішніх відвалів. В якості цільової функції є мінімізація витрат на транспорт і укладання порід у відвал. Автор пропонує різні схеми формування внутрішніх відвалів, які відрізняються послідовністю їх формування в межах глибокого кар'єру (рис.2). Автор зазначає, що на вибір прийнятної для даних умов схеми впливають розміри кар'єрного поля, фізико-механічні властивості порід, розміщують у внутрішній відвал та тих, які лежать в основі відвалу, а також встановлена послідовність його відпрацювання. В якості транспорту, який здійснює доставку розкривних порід до відвалів з вибоїв можна застосовувати автомобільний, залізничний або конвеєрний. Вибір транспорту залежить від технології комплексної механізації, яка прийнята в кар'єрі. Якщо для доставки розкриву в кар'єрі застосовують автомобільний транспорт, то найбільш прийнятними та ефективним є схеми а, в, д.

Автор вважає, що найбільш трудомісткими при реалізації технології внутрішнього відвалоутворення є схеми а, б, в, е, оскільки вони передбачають переукладання розкривних порід для формування кінцевого внутрішнього відвалу.

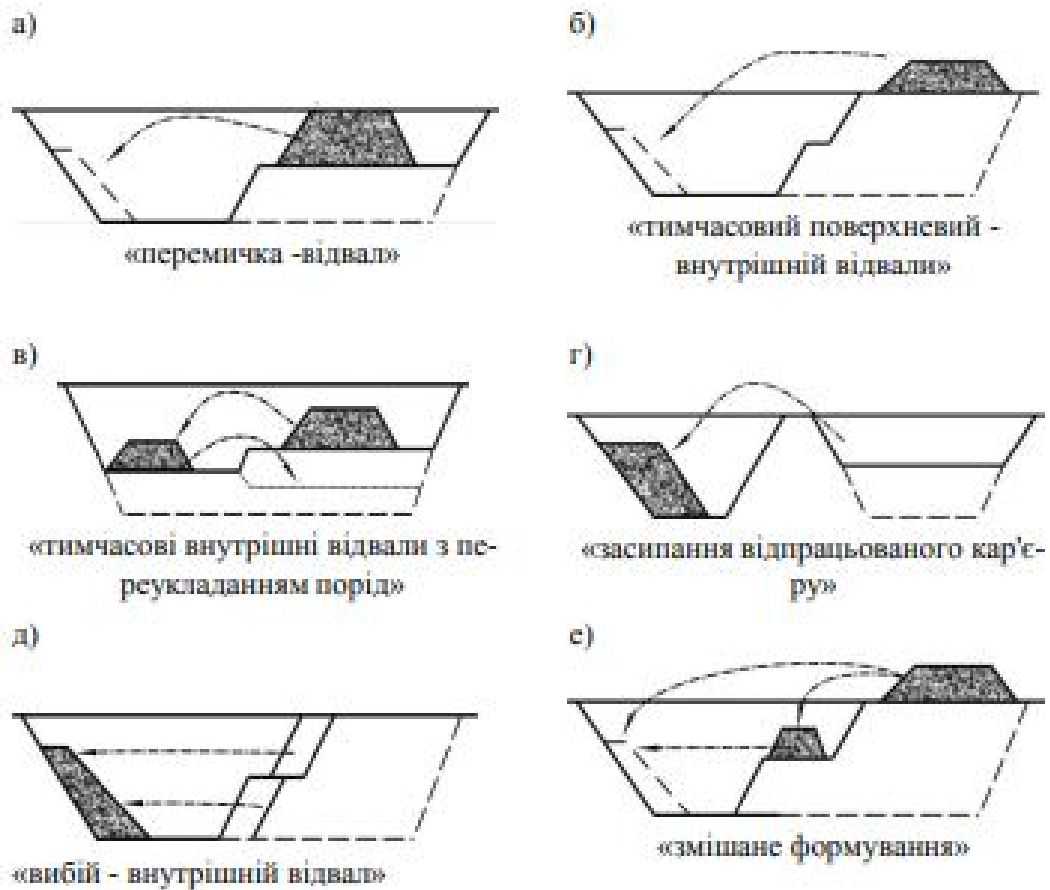


Рис. 2. – Можливі схеми формування внутрішніх відвалів

При формуванні внутрішнього відвалу за схемою «перемичка-відвал» (рис. 2а) формується тимчасовий внутрішній відвал на розкривних горизонтах, пізніше гірська маса буде перенесена на більш глибокі горизонти та розміщена стаціонарно. В плані такий відвал формується у виробленому торці кар'єру вздовж лежачого або висячого боків покладу. Формування відвалу відбувається чергами.

При формуванні внутрішнього відвалу за схемою «тимчасовий внутрішній відвали» (рис. 2б) розкривні породи тимчасово розміщуються у зовнішньому відвалі, а пізніше переносяться до внутрішнього відвалу. Як і у

варіанті а в плані такий відвал формується у виробленому торці кар'єру вздовж лежачого або висячого боків покладу. Формування відвалу відбувається чергами.

При формуванні внутрішнього відвалу за схемою «тимчасовий внутрішній відвал з переукладанням порід» (рис. 2в) розкривні породи неодноразово переміщуються між внутрішніми відвалами в межах робочої зони до досягнення проектної відмітки дна кар'єру. В плані такий відвал формується на відповідних ділянках у виробленому просторі. Формування відвалу відбувається чергами (етапами).

При формуванні внутрішнього відвалу за схемою «засипка відпрацьованого кар'єру» (рис. 2г) розкривні породи постійно розміщуються у відпрацьованому сусідньому кар'єрі – відбувається засипка неробочого та відпрацьованого кар'єру. В плані такий відвал формується по периметру.

При формуванні внутрішнього відвалу за схемою «вибій - внутрішній відвал» (рис. 2д) розкривні породи безпосередньо переміщуються від вибою до постійного внутрішнього відвалу. В плані такий відвал формується на відпрацьованих торцях кар'єру. Формування відвалу відбувається після формування кар'єру першої черги.

При формуванні внутрішнього відвалу за схемою «змішане формування» (рис. 2е) розкривні породи тимчасово розміщуються як у внутрішньому так і у зовнішньому відвалі, а далі переносяться у постійний внутрішній відвал. В плані такий відвал формується у відпрацьованих та невідпрацьованих ділянках кар'єру та на його поверхні. Формування відвалу відбувається чергами.

Схожу з рис.2б пропонують автори посібника [18]. Кар'єрне поле відпрацьовується у два етапи (черги) (рис.3). На першому етапі створюється кар'єр першої черги на фланзі кар'єрного поля з найменшим коефіцієнтом розкриву. Під час формування кар'єру першої черги розкривні породи вивозяться на зовнішній відвал. Відпрацювання ведеться на повну глибину до досягнення проектної границі кар'єру.

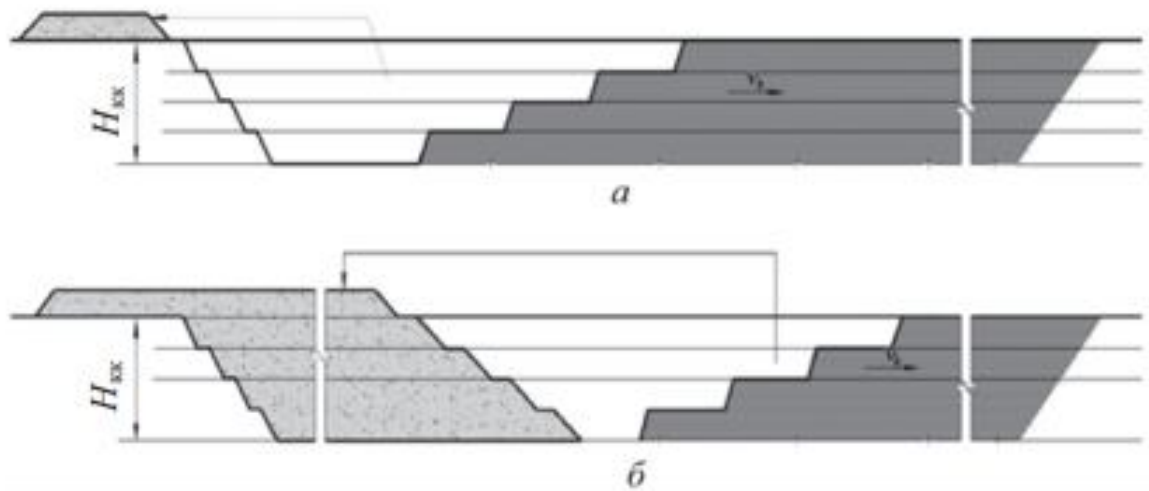


Рис. 3. – Схема ведення гірничих робіт чергами при суцільних поперечних системах розробки з формуванням внутрішнього відвалу: а – період закінчення будівництва кар'єру першої черги; б – експлуатація кар'єру

Завдяки першому етапу вдається створити ємність для того, щоб розміщувати в ній розкривні породи кар'єру другої черги, тобто перейти на внутрішнє відвалоутворення. Формування внутрішнього відвалу проводиться з нижнього ярусу. Транспортний зв'язок внутрішнього відвалу та робочих горизонтів здійснюється за рахунок напівстаціонарних з'їздів та постійного автошляху.

Автори статті [31] вважають, що всі технології розробки кар'єру з внутрішнім відвалоутворенням можна розділити на дві категорії: з формуванням постійного внутрішнього відвалу та з формуванням тимчасового внутрішнього відвалу, а після його наступної переєкскавації до моменту формування постійного внутрішнього відвалу.

В роботі [30], яка датується ще 70 роками ХХ століття проф. Рутковский Б.Т. описував блочну технологію, яка передбачає використання виробленого простору для розміщення розкривних порід (рис.4). Сутність технології полягає в попередньому поділі кар'єрного поля на окремі блоки, що розробляються послідовно. При цьому відпрацювання першочергового блоку здійснюється за позовжною поглиблювальною системою розробки з транспортною технологією та вивезенням всього обсягу

розкриву на зовнішні відвали. Потім наступний блок відпрацьовується за тією ж технологією, що і перший, але розкрив вивозиться у вироблений простір від першого блоку. Цьому варіанту блокової технології притаманні більшість недоліків традиційної технології. Вся порода у внутрішній відвал розміщується із застосуванням транспортної технології.



Рис. 4. – Блокова система розробки за Б.Т. Рутковським: H_k - глибина кар'єру, м.

Професор Шапар А.Г. з колегами в своїх численних роботах, присвячених внутрішньому відвалоутворенню, серед яких [13, 20] описував особливості даної технології. На рис.5 показано формування внутрішнього відвалу для видовжених родовищ.

Сутність описаної в його працях технології розробки родовищ з внутрішнім відвалоутворенням етапами полягає в наступному. На одній із границь кар'єрного поля, яка розташована вхрест простягання покладу (1), створюється кар'єр (2), який відпрацьовується інтенсивно вглиб на глибину h_1 . Цей етап характеризується малою швидкістю посування гірничих робіт в горизонтальному напрямку та великою швидкістю пониження гірничих робіт. Розкривні породи цього етапу транспортуються на денну поверхню та укладаються у зовнішній відвал. Коли завершується перший етап, розташовані з боку висячого та лежачого боків поклади, погашають, залишаючи на них транспортні комунікації для переміщення гірської маси на денну поверхню та транспортування розкриву у внутрішній відвал (3).

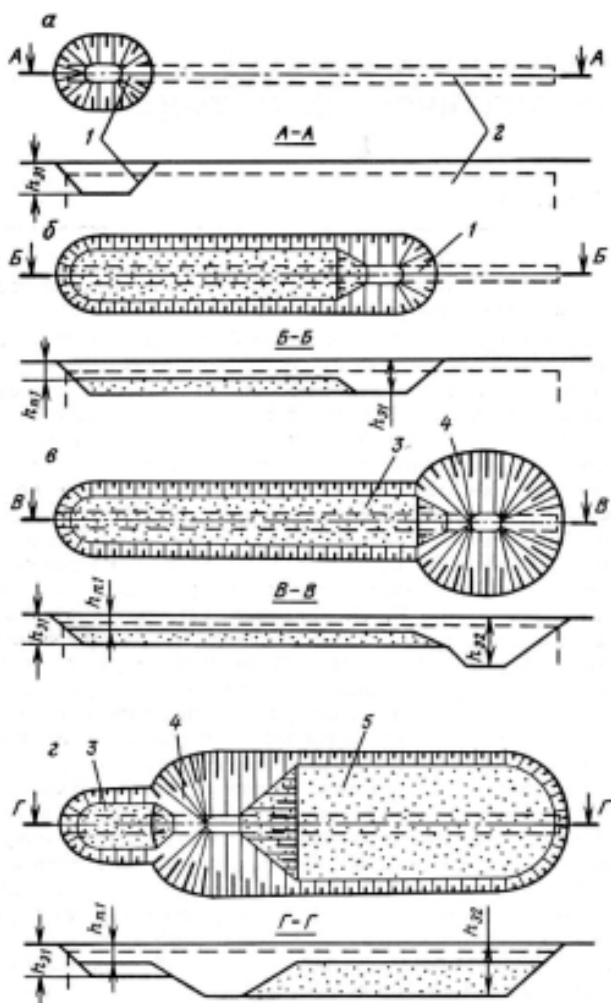


Рис. 5. – Технологічна схема розробки видовжених родовищ з внутрішнім відвалоутворенням: а- г - етапи формування виробленого простору з формуванням внутрішніх відвалів

На іншому борту, розташованому з боку флангу кар'єрного поля, формують робочі майданчики. Після завершення першого етапу, тобто вже на другому етапі, руду та розкривні породи виймають із вибоїв, розташованих на робочому борту кар'єра, шляхом просування фронту гірничих робіт уздовж простягання покладу до торцевої межі кар'єрного поля (рис. 5 б). Розкривні породи, які розташовані вище межі переходу від зовнішнього до внутрішнього відвалоутворення переміщують у зовнішній відвал, а розкривні породи, розташовані нижче рівня межі переходу по транспортним бермам переміщують у внутрішній відвал. Внутрішній відвал формується за просуванням робочого борту кар'єра до протилежного його торця у тимчасово неробочій зоні кар'єру. Коли гірничі роботи досягають межі кар'єрного поля внутрішнє відвалоутворення припиняється та

відбувається поглиблення кар'єру на другому етапі розробки родовища (рис. 5 в). Далі гірничі роботи розвивають у зворотному напрямку. Розкривні породи, що виймаються з глибини $h_{п2}$ і нижче, разом з породами, вже розміщеними у внутрішньому відвалі (3), складають у внутрішній відвал (4). Далі цикл повторюється. Отже легко зробити висновок, що кожен етап даної технології складається з двох періодів: поглибленням кар'єру, яке характеризується інтенсивним пониженням гірничих робіт, та горизонтального посування гірничих робіт уздовж простягання покладу, що характеризується великою швидкістю. Такий спосіб дозволяє розпочати внутрішнє відвалоутворення ще до досягнення кар'єром кінцевої глибини. Існує достатньо велика кількість варіантів реалізації даної технологічної схеми. Для кожного родовища буде свій варіант, оскільки всі родовища унікальні. Критерієм оптимальності варіанту є мінімум витрат на видобуток корисних копалин.

У статті [25] автори формулюють основні особливості розробки родовища з внутрішньокар'єрним відвалоутворенням. При цьому вони зазначають, що реалізація технології для кожного конкретного родовища унікальна, оскільки немає однакових родовищ. Проте загальні риси є і полягають вони в наступному:

1. Реалізація технології передбачає поділ кар'єрного поля (вхрест простягання родовища) на дві частини, одна випереджає у відпрацюванні інше, в ній і передбачається розміщення розкривних порід з іншої частини кар'єрного поля.
2. Проектування внутрішнього відвалоутворення та його реалізація стає можливою тільки в тій його частині, в якій буде здійснено повне вилучення балансових запасів і відсутні будь-які перспективи для реконструкції кар'єру в плані та у глибину.
3. Зміна положення деякого ділянки траси і у зв'язку з цим необхідність рознесення неробочого борту.

Схожу ідею розвивають автори [34]. Зазначається, що при відпрацюванні пологих шарів проблем з внутрішнім відвалоутворення немає. Але якщо реалізовувати дану технологію на крутоспадних родовищах, то вона буде мати принципові відмінності, серед яких:

1. Відпрацювання шарів ведеться вхрест простягання та практично по всій висоті робочої зони одночасно на всіх уступах.
2. Напрямок ведення гірничих робіт не залежить від геологічних умов залягання пластів.
3. При досягненні проектної глибини кар'єру подальше відпрацювання ведеться без пониження гірничих робіт тобто за суцільною системою розробки.
4. В початковий період внутрішнім відвалом засипається частина запасів корисної копалини. Подальше відпрацювання цих запасів можливе на другому етапі або є підземним способом (рис.6)

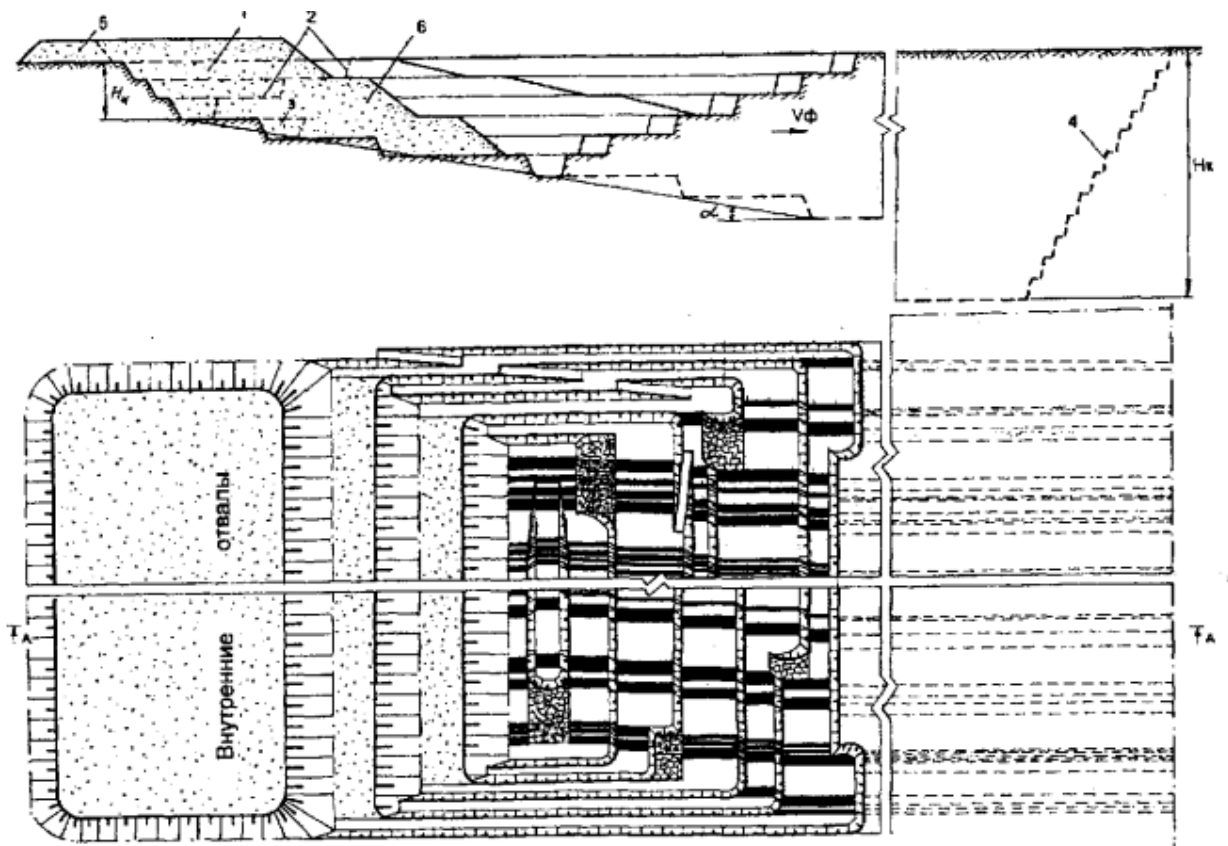


Рис. 6. – порядок відпрацювання кар'єрного поля при поглиблювально-суцільній системі розробки з внутрішнім відвалоутворення етапами (Етап 1).

Після створення кар'єру першої черги (1) до глибини N_k робочий борт (2) посувають на певну відстань, яка дозволяє забезпечити умови для проходки розрізної траншеї (3) на уступі нижче та розміщення розкриву у виробленому просторі. Далі відбувається поглиблення робіт. Такий порядок зберігається до досягнення границі відпрацювання (4) на протилежному фланзі кар'єрного поля. При формуванні кар'єру першої черги (1) розкривні породи вивозяться на зовнішні відвали або ж у тимчасові відвали (5), розташовані попереду робочого борту. В основний період експлуатації кар'єру близько 80-85% розкриву переміщують у внутрішній відвал (6).

У монографії [22] автори зазначають, що згідно сформованої практики, під внутрішнім відвалоутворенням розуміють як створення відвалу всередині діючого кар'єру – в його відпрацьованій частині, так і розміщення розкривних порід в інші, раніше відпрацьовані кар'єри. Практика внутрішнього відвалоутворення показала, що потрібен поділ цих варіацій як технологічними, так і за організаційними умовами. Технологія внутрішнього відвалоутворення у раніше відпрацьовані кар'єри перебуває у тісному взаємозв'язку з видом транспорту, який перевозить розкрив на поверхні, вибір якого у свою чергу взаємопов'язаний з усім транспортно-відвальним ланцюжком: внутрішньокар'єрний транспорт, при необхідності – перевантажувальні пункти, транспорт на поверхні, технологія відвалоутворення. Технологія з внутрішньокар'єрним відвалом, як правило, вимагає зміни в першу чергу режиму розкривних робіт, а також технічних рішень, наприклад, скорочення відносної частки залізничного транспорту, а найчастіше і повну відмова від нього.

На перший погляд формування внутрішніх відвалів у вже відпрацьовані кар'єри не представляє проблем. Однак це не відповідає дійсності та має цілий ряд труднощів [22]:

1. Відстань між кар'єрами, що відпрацьовується і засипається, а отже, вибір виду транспорту на поверхні і, як показує вже наявна практика – специфіка технології процесу відвалоутворення.
2. Зазвичай у відпрацьованих кар'єрах припиняється водовідлив і вони поступово заповнюються водою, що в багатьох випадках може сприяти розвитку зсувних явищ і веде до ускладнення технології та параметрів відвалоутворення та вибору обладнання, що застосовується.
3. Суттєво зменшуються можливості селективного укладання пухких, напівскельних і скельних розкривних порід, відповідно - їх подальшого використання.

На думку [12] формування внутрішніх відвалів у вже відпрацьованих кар'єрах тобто їх засипання, сприяє раціональному використанню земельних ресурсів, значному зниженню витрат на видобуток корисних копалин. Це відбувається за рахунок зниження до мінімуму відстаней перевезення та витрат на земельні платежі через зниження порушень земельної площі зовнішніми відвалами. Щоб використовувати переваги даного підходу автор рекомендує при експлуатації групи родовищ виділяти та відпрацьовувати до граничних контурів кар'єри першої черги, а вже потім вести розробку кар'єрів другої черги зі складуванням порід розкриву у виробленому просторі кар'єрів першої черги. Така технологія знайшла застосування на цілому ряді кар'єрів (ЦГЗК, АрселорМіттал тощо).

Аналізуючи наукову літературу з питання внутрішнього відвалоутворення складається враження, що винайдено панацею і можна вирішити купу проблем гірничого виробництва розміщуючи розкрив у виробленому просторі. Звісно, що дана технологія має багато переваг, які були окреслені вище, проте не завжди внутрішнє відвалоутворення можна реалізувати. Можливості формування внутрішніх відвалів обмежуються рядом геологічних та технологічних факторів, а саме [5]:

- Значна вертикальна потужність родовища – тобто на крутоспадних потужних родовищах технологію важко реалізувати;

- Глибини залягання корисних копалин більше 1100 м;
- Зміна робочої зони кар'єру по вертикалі та наявність сталої динаміки поглиблення кар'єру;
- Концентрація навантажувальної та транспортної техніки на нижніх горизонтах кар'єру;
- Застосування відкрито-підземної розробки з виходом підземних виробок у робочу зону кар'єру.

Якщо говорити про поетапну розробку кар'єрного поля з внутрішнім відвалоутворенням на другому етапі, то й така технологія має свою область застосування та відповідні обмеження. Областю ефективного застосування є видовжені родовища з кутами падіння пластів до 25° (тобто не крутоспадних), відносно обмежена глибина кар'єру (до 300 м).

Автори [5] вважають, що вищеперераховані фактори утруднюють формування внутрішніх відвалів, проте не роблять цю технологію неможливою. В якості рішення, яке робить можливою технологію внутрішнього відвалоутворення при крутоспадних родовищах є інтенсивна розробка родовища відкрито-підземним способом на глибину до 600 м, що дозволить наблизити час створення внутрішнього відвалу на 15-30 років. Розкривні породи внутрішнього відвалу будуть розміщені у відпрацьований відкрито-підземний ярус висотою до 270 м. Звичайно тут може постати питання стійкості одноярусного відвалу значної висоти, проте автори [5] наводять статистику формування стійких одноярусних високих відвалів серед яких відвал Аннівського кар'єру ПівнГЗК (130 м), Дашкесанський в Азербайджані (270 м) та інші. Авторами пропонуються наступні принципові схеми внутрішнього відвалоутворення при відкрито-підземній розробці (рис.7)

Поетапне формування внутрішніх відвалів пропонується в роботі [17]. Передбачається, що кар'єр ділять на дві черги по довжині: першу (1) та другу (2) (рис. 8).

Кар'єр першої черги відпрацьовують до проєктної глибини, при цьому розкривні породи переміщуються у зовнішні відвали. У міру підходу робочих майданчиків до граничного контуру його ставлять у граничне положення і на одному з його поздовжніх бортів формують внутрішній петельний з'їзд. В цей же час в кар'єрі другої черги формують робочий борт 4, на якому передбачають майданчик для розміщення на ньому тимчасового складу 5 порід, що видобуваються при відпрацюванні кар'єру першої черги.

В статті [31] описується схожа технологія з формування внутрішнього відвалу етапами. Перший етап технології передбачає підготовку майданчика під внутрішній відвал, ведення гірничих робіт у напрямку другого етапу, а також поступове формування тимчасового внутрішнього відвалу.

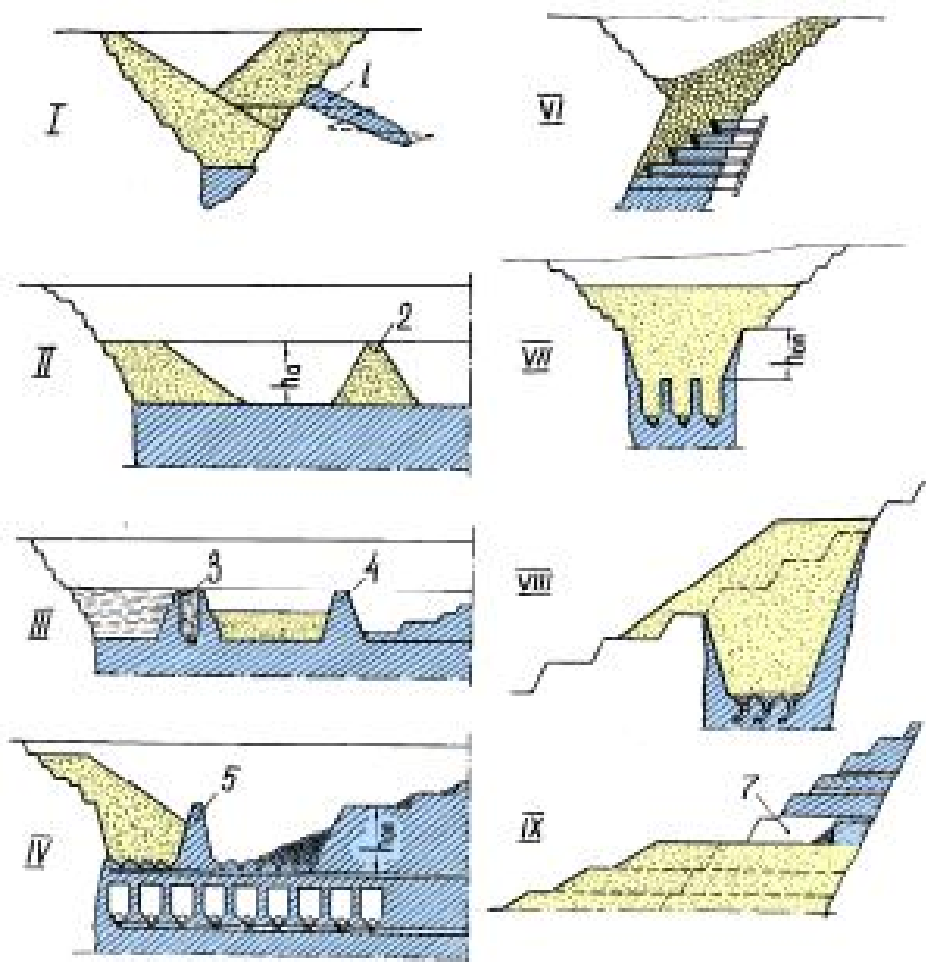


Рис.7 - Принципові схеми внутрішнього відвалоутворення при комбінованій відкрито-підземній розробці: 1- прибортовий поклад; 2 – призма з розкривних порід; 3 – призма з твердіючої закладки; 4 – рудна призма; 5 – цілик, який запобігає перемішуванню породи та відбитої руди; 7 – камера, що відпрацьовується на неробочому борту.

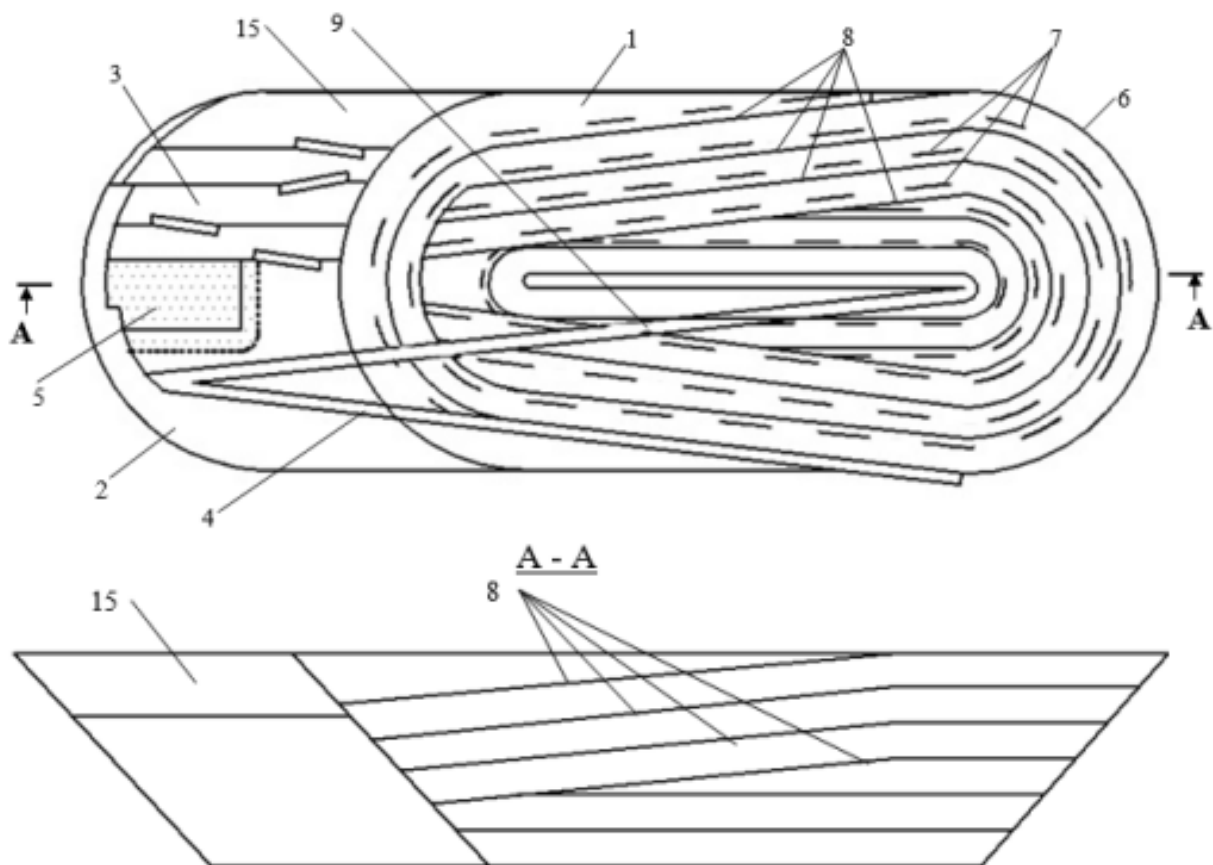


Рис.8 - Стан гірничих робіт на момент відпрацювання кар'єру 1 та 2 черг

Кожен наступний етап даної технології (їх може бути багато) включає повтор перерахованих вище дій поглиблення гірничих робіт у напрямку з меншим коефіцієнтом розкриву, підготовку майданчика для початку формування внутрішнього відвалу, внутрішнє відвалотворення з переєксквацією раніше заскладованих порід попереднього етапу (рис. 9).

Цей же автор у статті [32] розглядає та аналізує технологічні схеми ведення гірничих робіт з внутрішнім відвалотворення в ув'язці з режимом гірничих робіт. Тобто, технологічних схем може бути багато, але, щоб обрати кращий за економічними показниками варіант, слід дослідити та врахувати вплив напряму розкриття родовища на режим гірничих робіт при внутрішньому відвалотворенні і на цій основі здійснити обґрунтування та вибір раціонального варіанту режиму гірничих робіт кар'єрі.

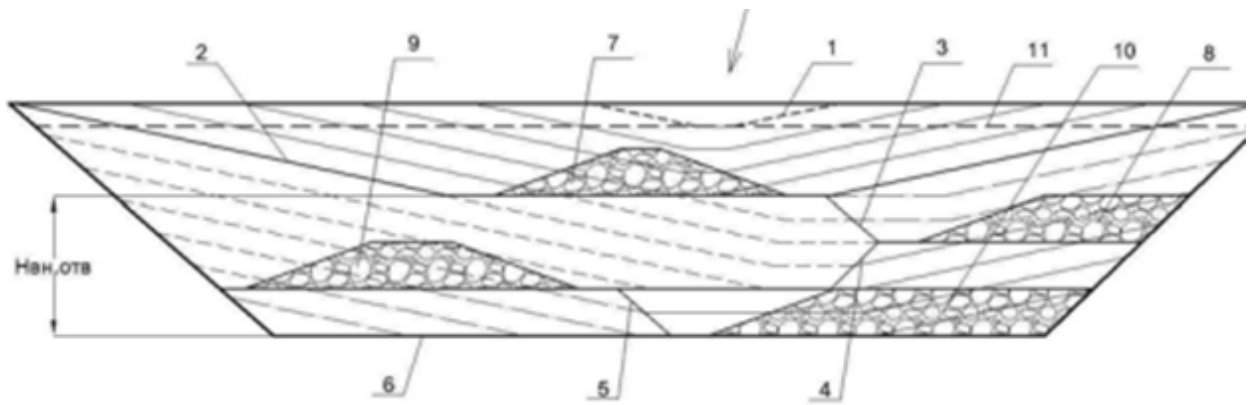


Рис.9 - Технологія ведення гірничих робіт етапами з внутрішнім відвалоутворенням: 1 - контур ГКР; 2 – контур кар'єра I етапу; 3 – контур кар'єра II етапу; 4 - контур кар'єру III етапу; 5 – контур кар'єра IV етапу; 6 – контур кар'єра V етапу; 7 - тимчасовий внутрішній відвал I етапу; 8 – тимчасовий внутрішній відвал II етапу; 9 - тимчасовий внутрішній відвал III етапу; 10 - постійний внутрішній відвал IV і V етапи; 11 - контур покладу по простяганню.

Автор розглядає три варіанти розкриття родовища: з боку висячого боку покладу (варіант А рис.10), по центру покладу (варіант В представлений на рис. 9); з боку лежачого боку покладу (варіант С рис.11).

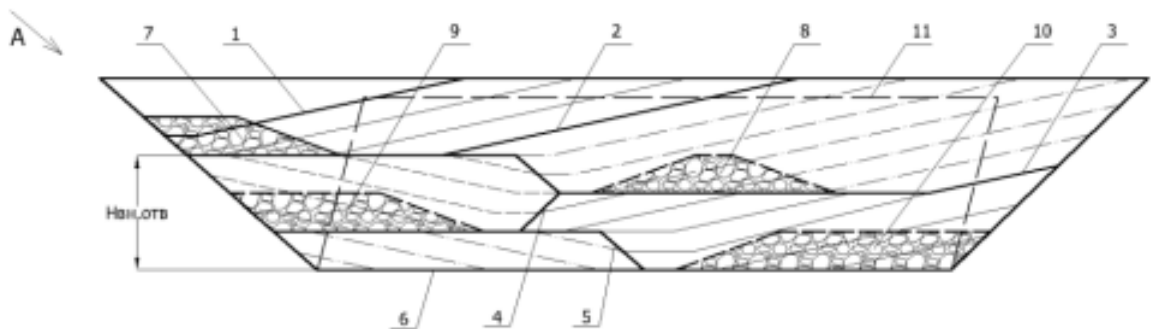


Рис.10 - Технологія ведення гірничих робіт етапами з внутрішнім відвалоутворенням; 1 – контур ГКР; 2 – контур кар'єру I етапу; 3 – контур кар'єру II етапу; 4 – контур кар'єра III етапу; 5 – контур кар'єра IV етапу; 6 - контур кар'єру V етапу; 7 - тимчасовий внутрішній відвал I етапу; 8 – тимчасовий внутрішній відвал II етапу; 9 - тимчасовий внутрішній відвал III етапу; 10 - постійний внутрішній відвал IV та V етапів; 11 – контур покладу по простяганню

Автором були побудовані графіки залежності $V=f(P)$ та проведено усереднення експлуатаційних коефіцієнтів розкриття за періодами часу. Аналіз графіків дозволяє автору зробити висновок, що технологічні схеми внутрішнього відвалоутворення з формуванням тимчасового внутрішнього відвалу та подальшим його переміщенням етапами до постійного стану

суттєво впливають на режим гірничих робіт, а варіант розкриття родовища визначає режим гірничих робіт кар'єру при внутрішньому відвалоутворення.

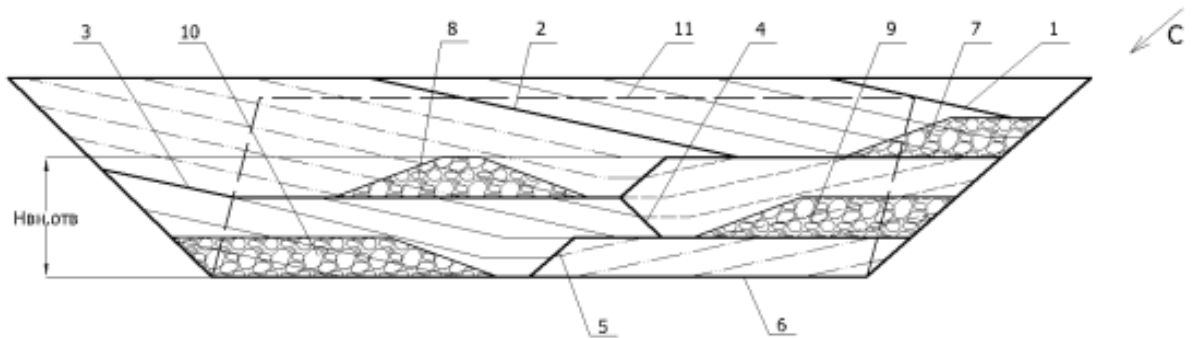


Рис.11 - Технологія ведення гірничих робіт етапами з внутрішнім відвалоутворенням: 1 – контур ГКР; 2 – контур кар'єру I етапу; 3 – контур кар'єру II етапу; 4 – контур кар'єра III етапу; 5 – контур кар'єра IV етапу; 6 - контур кар'єру V етапу; 7 - тимчасовий внутрішній відвал I етапу; 8 – тимчасовий внутрішній відвал II етапу; 9 - тимчасовий внутрішній відвал III етапу; 10 - постійний внутрішній відвал IV та V етапів; 11 – контур покладу по простяганню

Порівняння значень усереднених експлуатаційних коефіцієнтів розкриття за трьома варіантами дозволило автору зробити висновок про те, що розкриття родовища та ведення гірничих робіт за варіантом В (рис.9) має менший експлуатаційний коефіцієнт розкриття в першому періоді експлуатації при меншому об'ємі гірничо-капітальних робіт. Це дозволяє перенести виймання розкривних порід на більш пізні періоди часу, що більш покращить економічні показники роботи кар'єру.

3. ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

Гірнична практика дозволяє проаналізувати деякі технологічні рішення щодо застосування виробленого простору під час відкритої розробки родовищ корисних копалин.

Так, у статті [10] згадується про те, що практичне застосування технологія внутрішнього відвалоутворення здійснили у кар'єрах Полтавського ГЗК, Центрального ГЗК та Північного ГЗК. Фахівцями Кривбаспроекту було спроектовано постійний внутрішній відвал для Інгулецького кар'єру, а фахівцями Южгіпроруди - тимчасовий внутрішній відвал Первомайського кар'єру ПівнГЗК.

Отже, на вітчизняних кар'єрах технологією внутрішнього відвалоутворення достатньо давно опробували та застосовують і донині. Одним із таких підприємств є Полтавський ГЗК. У статті [27] описано досвід застосування внутрішнього відвалоутворення, передумови до його переходу, отримані результати. Серед передумов внутрішнього відвалоутворення автор відзначає вимоги щодо охорони земельних ресурсів, значні рентні платежі.

Для Горішне-Плавнінського та Лавриківського родовищ інститутом Южгіпроруда було розроблено проєкт, який передбачав розробку родовищ з внутрішнім відвалоутворенням двома чергами (рис.12). Висота першої черги складала 170-180 м. Висота другої черги в середній частині складала 320 м, а в дальній 120 м. Первинний внутрішній відвал мав розміщувати 60 млн.м.куб порід, а щорічний обсяг внутрішнього відвалу складав 4-5 млн.м.куб. порід розкриву.

Промислове впровадження даної технології на кар'єрі Полтавського ГЗК проводиться з 4 кварталу 1993 року. По західному борту велось укладання розкриву у внутрішній відвал з відміткою підосви -150 м. Щоквартально у цей відвал складувалось близько 300 тисяч м.куб. розкриву. В серединній частині кар'єру створено первинний внутрішній відвал на

відмітці -105 м, в який протягом 4 років було укладено 9,6 млн.м.куб. розкриву.

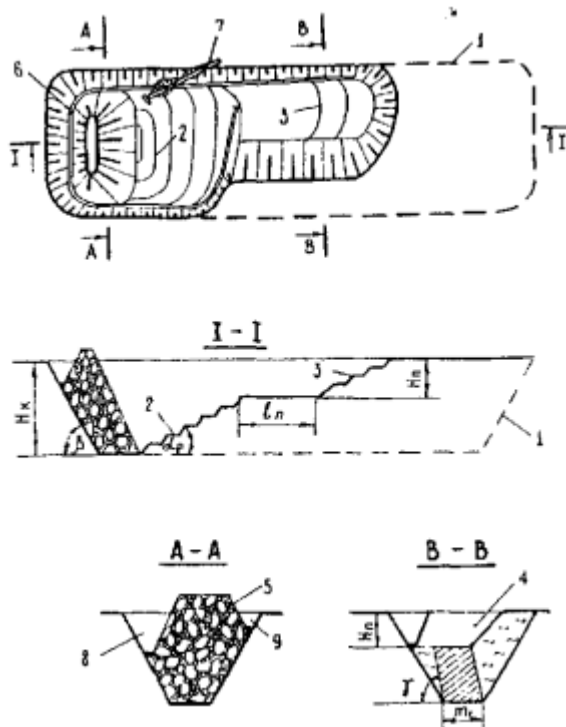


Рис.12 - Відпрацювання крутоспадних пластових родовищ з внутрішнім відвалоутворенням: 1- контури карерного поля; 2 – робочі горизонти в зонах углубки та посування; 4, 5 – площі углубки внутрішнього відвалу в зонах углубки та посування; 6 – комунікації; 7- конвеєрний підйомник; 8,9 – остаточні траншеї для транспортних комунікацій.

Застосування технології внутрішнього відвалутворення на кар'єрі Полтавського ГЗК дозволило знизити відстань транспортування розкриву автотранспортом на 1,2-2,5 км, залізничним – на 5 км. Збережено від порушення зовнішніми відвалами 6 га родючих земель. Річний економічний ефект за цінами 1998 року становив 60 тис.грн [27]. Автор зазначає, що окрім отриманого економічного ефекту застосування технології внутрішнього відвалутворення дозволило відмовитись від застосування для потреб відвалутворення залізничного транспорту, повністю запобігти подальшому порушенню земельних площ зовнішніми відвалами, скоротити викиди пилу в атмосферу, створити сприятливі умови для подальшої рекультивації кар'єру.

Технологічні рішення по формуванню внутрішніх відвалів у виробленому просторі кар'єру Полтавського ГЗК детально описані у статті українського вченого, який давно займається цим питанням О.Анісімова [8]. Автор аналізував технологічні схеми з використанням внутрішнього відвалутворення, які вже застосовувались в кар'єрі, і запропонував

розмістити частину розкриву у центральній частині на вже відпрацьованих бортах. Доставка порід має здійснюватися засобами автомобільного транспорту в 4 етапи. На 3 і 4 етапах може бути задіяний залізничний транспорт із перевантажувальними пунктами. При формуванні відвалу пропонується використовувати наступні засоби механізації: бульдозери і екскаватори. Мехлопати краще застосовувати на 1 та 4 етапах, драглайни - при формуванні внутрішнього відвала на 2 і 3 етапі, задля безпечного відвалоутворення за умови значної висоти внутрішнього відвалу. Доставка на поверхні може здійснюватися як автосамоскидами так і залізницею. Конструкція внутрішнього відвалу - одноярусний. Висота ярусу визначається мінімальною відстанню транспортування розкривних порід змінюється в межах від 15 до 60 м і навіть більше. Особливу увагу слід приділяти стійкості внутрішнього відвалу.

Моделювання етапів розвитку внутрішнього відвалу та підрахунок об'ємів розкривних порід, які передбачені до розміщення у внутрішніх відвалах, було виконано методом вертикальних перерізів з використанням ГІС К-MINE. Були визначені основні положення відвалів по етапах (рис.13).

Параметри етапів наступні:

1 етап - довжина відвала – 855 м, позначки: нижній рівень -350,0 м, верхній рівень - 190,0 м, висота відвалу – 160 м.

2 етап - засипка в центральній частині на південь від відвалу 1 етапу. Довжина відвала 1215 м, позначки: нижній рівень -190,0 м, верхній рівень - 100,0 м, висота відвалу – 90 м.

3 етап - з поверхні кар'єру в межах етапу 2. Довжина відвалу 626 м, позначки: нижній рівень -100,0 м, верхній рівень +30,0 м, висота відвалу становить 130 м.

4 етап - формується у південному напрямку від відвала етапу 3. Довжина відвалу 2150 м, позначки: нижній рівень -100,0 м, верхній рівень + 45,0 м., висота відвалу – 145 м. (рис. 14).

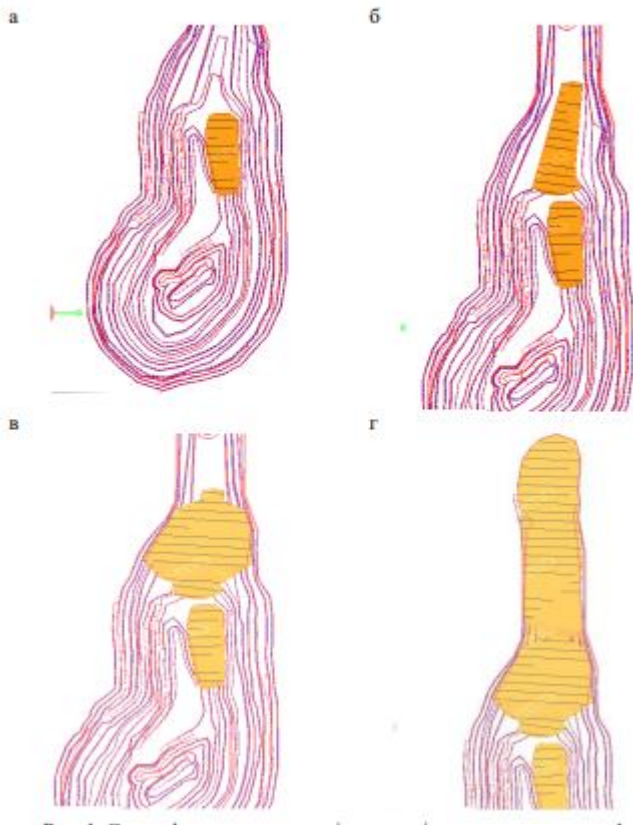


Рис. 13. - Формування внутрішнього відвала етапами: а – 1 етап, б – 2 етап, в – 3 етап, г – 4 етап

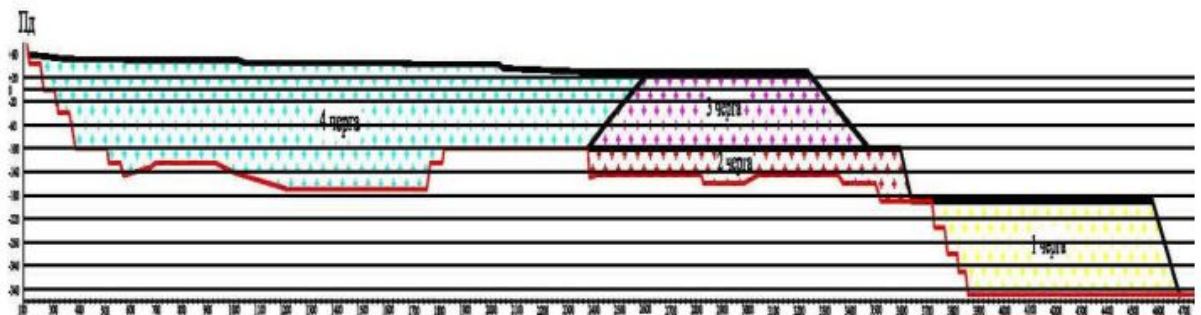


Рис. 14. – Формування відвалу етапами: поздовжній розріз кар'єру

Найбільші обсяги розкривних порід будуть розміщені на 3 й 4 етапах у центральній і південній частинах кар'єру (рис.15).

Реалізація технології внутрішнього відвалоутворення з формуванням тимчасового внутрішнього відвалу на прикладі Першотравневого кар'єру ПівнГЗК описана у статті [10]. Кар'єр відпрацьовує крутопохилий поклад. У 2016 році глибина кар'єру сягнула 470 м, гранична його глибина становить

650 м. Проектом передбачено створення внутрішнього тимчасового відвалу розкривних порід у виробленому просторі кар'єру на південно-західному борту. Ця ділянка обрана за критерієм мінімуму витрат на її освоєння.

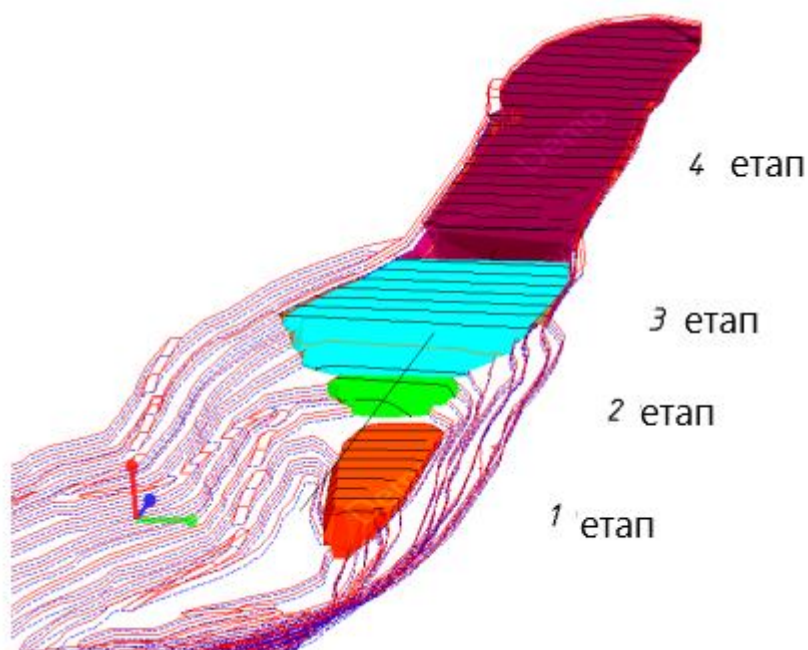


Рис. 15. – Формування відвалу етапами

Формування внутрішнього відвалу передбачається здійснити на першому етапі реконструкції гірничотранспортної схеми, що дозволить значно скоротити дальність транспортування розкриву. Ліквідацію внутрішнього відвалу передбачається здійснити у 2043 р. (рис.16).

Формування внутрішнього відвалу на Першотравневому кар'єру супроводжується рядом складнощів, пов'язаних з геомеханічними явищами. Так, за даними геологічної служби кар'єру у його південно-західній частині гірничими виробками розкрито потужну тектонічну зону, яка впливає на припливи вод в кар'єр. У весняно-осінній період у зоні внутрішнього відвалу проявляються водопритоки, що є ускладнюючим чинником на формування його стійкості. Ще одним ускладнюючим фактором є воронкоутворення від підземних гірничих робіт законсервованої шахти «Червоний партизан». Проектом передбачено розміщення у внутрішньому відвалі 6320,0 тис. м.куб скельних розкривних порід у розпушеному стані із забезпеченням

коефіцієнта запасу стійкості не менше 1,5 в зв'язку з потенційними небезпечними геомеханічними явищами[10].

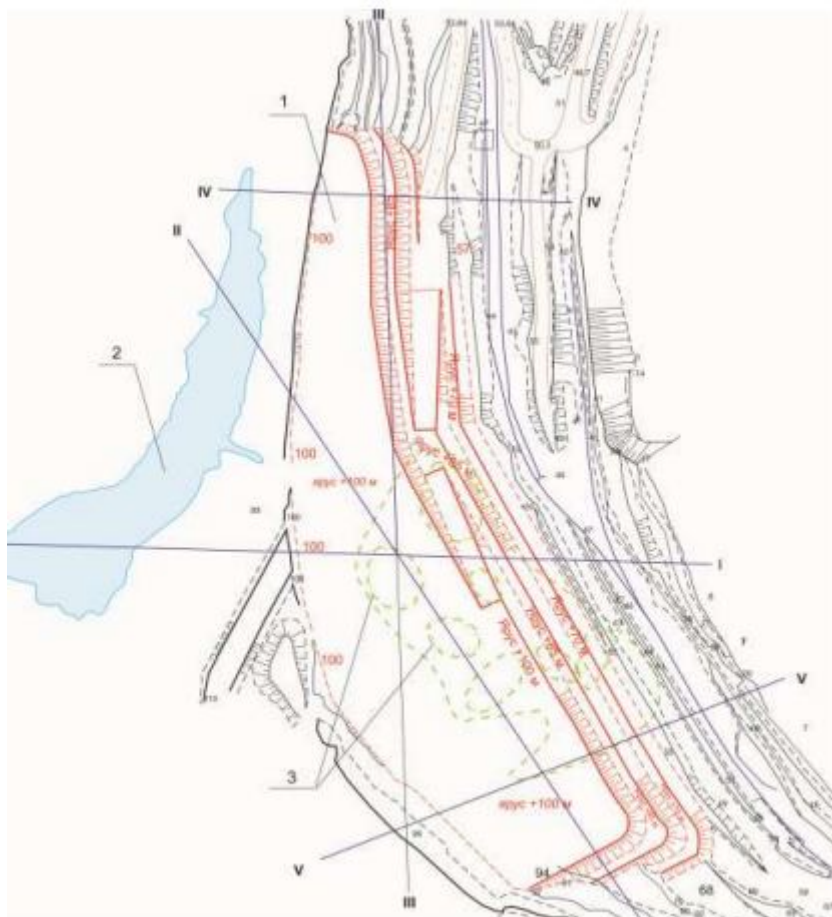


Рис.16 - План гірничих робіт з позначенням розташування внутрішнього відвалу [10]: 1- проєктований відвал; 2 - ставок-акумулятор поверхневого стоку; 3 - зони можливого воронкоутворення; I-I, II-II, III-III, IV-IV, V-V - напрямки розрізів

Автори [10] роблять висновок, що формування внутрішнього відвалу дозволяє знизити собівартість руди головним чином за рахунок зменшення транспортних витрат. Крім того, розміщення тимчасового внутрішнього відвалу дозволить раціонально використовувати простір і переміщувати відвал, уникаючи консервації запасів. При всіх позитивних сторонах такого рішення розташування відвалу в межах працюючого кар'єру забезпечувати безпеку ведення гірничих робіт. Тому обґрунтування параметрів внутрішнього відвалу потребує детального аналізу усіх умов, що дозволить встановити необхідні для забезпечення стійкості параметри відвалу в різних його точках.

Аналіз статті [24] дозволяє зробити висновок, що технології ведення гірничих робіт з використанням виробленого простору застосовуються давно,

в тому числі і у Кривбасі. Автори статті зазначають, що кар'єрні поля з довжиною по поверхні до 2-2,5 км слід розробляти з вивезенням розкриву у зовнішні відвали. Після того як кар'єр буде відпрацьовано до проєктного контуру, його вироблений простір можна використовувати для складування розкриву сусідніх кар'єрів Така технологія опробована на кар'єрі №1 НКГЗК (зараз АрселорМіттал Кривий Ріг), де за проєктом Укрдїпроруди з 1979 р. одним відвальним уступом засипається вироблений простір з первісною глибиною 175 м. Формування внутрішнього відвалу ведеться виключно скельними породами. На поверхні засипаного кар'єру було створено дачне селище. За такою ж технологією ще у 1983–1985 рр. одним відвальним уступом був засипаний Скелеватський кар'єр глибиною 110 м, що потрапив у зону ведення гірничих робіт кар'єру ПівдГЗК.

У статті [25] детально описано технологію внутрішнього відвалоутворення в умовах крутоспадного Кія-Шалтирського родовища. Родовище відпрацьовується у два етапи. На першому етапі (коефіцієнт розкриву $3,98 \text{ м}^3/\text{м}^3$) відбувається вивезення розкривних порід на зовнішні відвали, на другому етапі (коефіцієнт розкриву $1,25 \text{ м}^3/\text{м}^3$) – у внутрішній відвал.

Виділення етапів здійснювалося з умови розміщення максимального об'єму розкривних порід у виробленому просторі. Розмежування етапів проходить по горизонтах 690–610 м. На момент підготовки горизонту 610 м завершується відпрацювання запасів руди у південній частині кар'єрного поля. У північній і центральній частина кар'єру залишається значний обсяг розкривних порід, які будуть розміщені у виробленому просторі.

Запаси відпрацьовуються на глибину, що дозволяє за простяганням без зміни напрямку траси, облаштувати (рис. 17) з'їзд 8 максимальної довжини. За допомогою з'їзду 10, зведеного з розкривних порід, відпрацьовується корисна копалина, що знаходиться в цілику під з'їздом 8, після чого приступають до розміщення породи в підготовленому виробленому просторі.

Формування внутрішнього відвалу здійснюється шарами висотою, що дорівнює висоті погашеного уступу на граничному контурі кар'єру. Шари об'єднуються в яруси висотою 60 м, між якими облаштовується берма шириною 50 м. У нижню частину порода надходить спочатку за ціликом 1, і після просування відвального фронту в південному напрямку на величину 50-60 м організується потік породи по транспортній бермі 4, а потім і по бермі 5. З випередженням заповнюється простір із боку східного борту кар'єру.

Цим забезпечуються безперервність потоку породи у внутрішній відвал та умови для зведення з'їзду 10 (рис. 17) для відсіпання шару, обмеженого горизонтами 670 і 700 м. Наступний шар відсіпається з майданчика 3, на який порода надходить по стаціонарному з'їзду 11 (рис. 17).

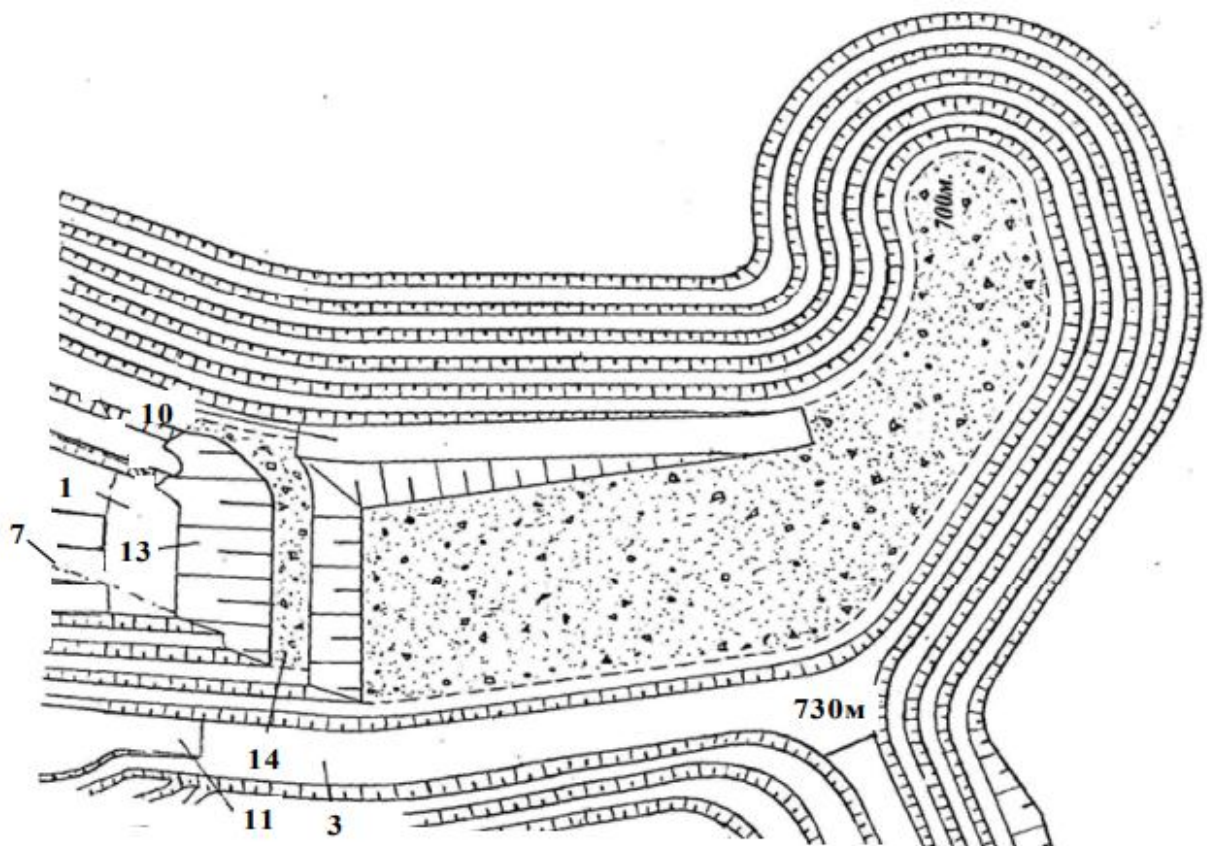


Рис.17 - Фрагмент кар'єру з внутрішнім відвалом: 1 – розділовий цілик; 3 – витягнутий горизонтальний майданчик; 10, 11 – з'їзди; 13 - відвал, нижній ярус; 14 – берма безпеки

Для доставки породи у верхню частину відвалу на майданчику 3 зводиться (рис. 18) з'їзд 15, який розвивається у систему з'їздів до виходу до торцевого укосу відвалу, і далі - за контуром відвалу, не пов'язаного з контуром кар'єру.

Розглянута технологія достатньо ефективно вирішує проблему розкривного навантаження на вилучення корисних копалин з нижньої частини кар'єрного поля при розробці видовжених крутоспадних родовищ. Результати її впровадження на думку авторів дозволяє знизити у 2,25-2,45 рази витрати на транспортування розкриву, дає можливість додатково вилучати корисні копалини із запасів, що знаходяться за граничним контуром кар'єра. Проте реалізованість технології визначається завчасністю дослідницьких і проектних опрацювань, порядком ведення гірничих робіт.

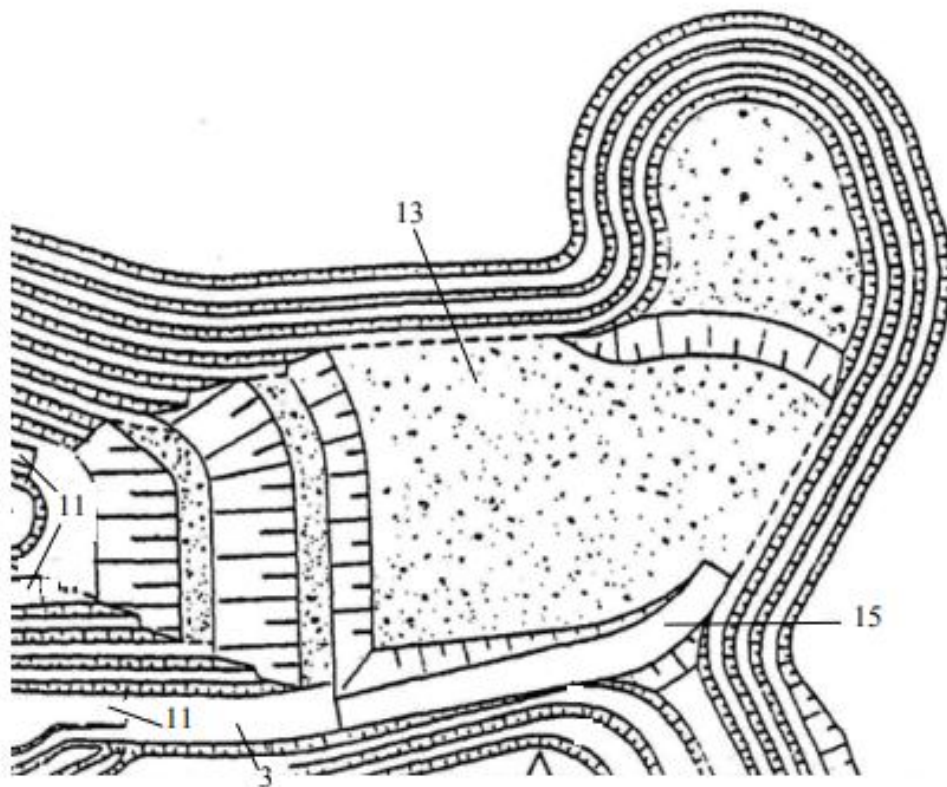


Рис.18 - Розміщення породи у верхній частині відвалу: 3 – видовжений майданчик; 11 – стаціонарний з'їзд; 13 – відвал; 15 – з'їзд для доставки породи у верхню частину відвалу

В статті [28] автори діляться досвідом та результатами застосування технології внутрішнього відвалоутворення на Хаканджинському

золоторудному родовищі. Кар'єр №1 у проектному положенні має витягнуту форму, що дозволило одночасно вести відсіпку внутрішнього відвалу як в південній частині, відпрацьованій до граничної глибини, так і у північній його частині. Місткість передбачуваного відвалу складе 1500 тис. м.куб , кут укосу – $36,5^\circ$, спосіб формування відвалу бульдозерний, перевезення розкривних порід здійснюється автомобільним транспортом. На підставі виконаного аналізу топографічних та гірничо-геологічних умов розробки родовища був запропонований варіант формування внутрішнього відвалу у центральній частині кар'єру на позначках +352,5 м - +452,5 м у такому порядку: верхній ярус до відм. 452,5 м, по досягненню верхнього ярусу (відм. 400-452,5 м) проектних кордонів – висоти та геометричних розмірів майданчика, має проводитися відсіпання нижнього ярусу у відм. 348-400 м (рис. 19).

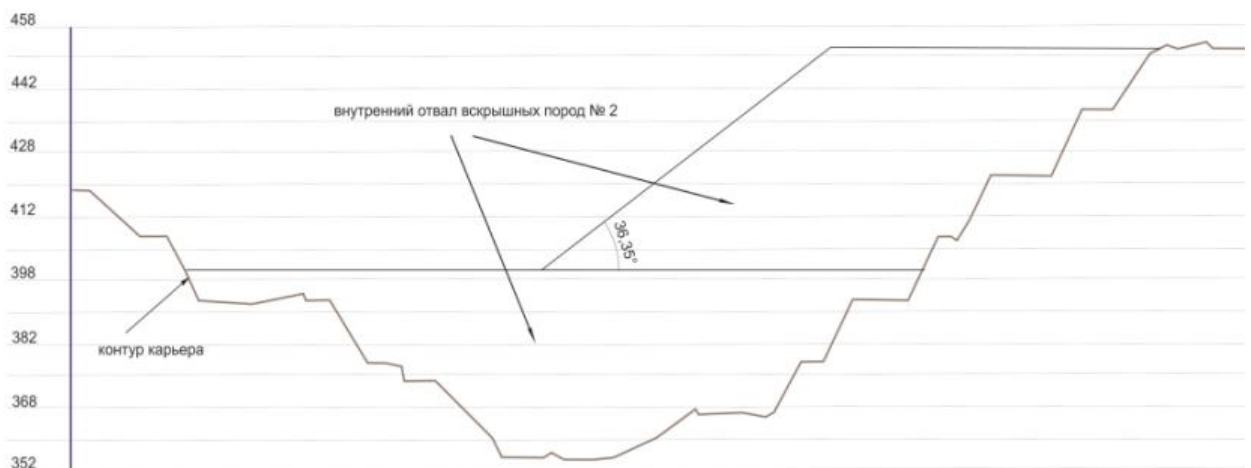


Рис.19 - Конфігурація внутрішнього відвалу розкривних порід Хаканджинського золоторудного родовища

Техніко-економічний аналіз дозволив встановити, що запропонована схема формування внутрішнього відвалу потребувала б значних відстаней транспортування розкривних порід для відсіпання нижнього ярусу, що призвело б до зростання собівартості розкриття. Для забезпечення переваги схеми внутрішнього відвалоутворення над зовнішнім, було змінено схему шляхом розвитку внутрішньокар'єрного відвалу в один ярус з майданчика відм. +452,5 м південно-східного неробочого борту кар'єру. Місткість відвалу

відвалу в один ярус дозволяє розмістити 1100 тис. м.куб розкриву. На основі детального вивчення гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов району розташування внутрішнього відвалу було встановлено, що розміщення відвалу виключає засипку перспективних ділянок, підвідвальні площі представлені безрудним гірським масивом, що перебуває у стані з мінімальним ступенем порушеності. Ділянок з наявністю геологічних порушень, ослаблених контактів порід, порід зі зниженою міцністю та яскраво вираженою тріщинуватістю, не було виявлено [28].

Застосування внутрішнього відвалоутворення дозволило скоротити витрати на транспортування розкривних порід, за рахунок розміщення у внутрішній відвал великих обсягів породи (1100 тис. м.куб). Середня відстань транспортування розкриву скоротилася на 1,2–2 км, отримано значний економічний ефект.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

Під час викладення матеріалу магістерської роботи неодноразово зазначалось, із посиланням на авторитетних вчених, що погіршення гірничо-технічних умов розробки сучасних родовищ та жорстка конкуренція на сировинному ринку зумовлює пошук рішень, які дозволять знизити собівартість видобутку корисних копалин, або хоча б не підвищувати.

В даній роботі розглядались технологічні схеми, які передбачають застосування виробленого простору для розміщення у ньому порід розкриву: створення тимчасових, постійних внутрішніх відвалів або ж засипки кар'єрів.

Проведений в роботі аналіз дозволяє систематизувати отримані знання (таблиця 2):

Таблиця 2

Порівняння традиційних технологій розміщення розкривних порід та технологій з використанням виробленого простору

Параметр	Традиційні технології (ТТ)	Технології з використанням виробленого простору (ТВВП)
Собівартість відвалоутворення	У переважній кількості випадків є більшою у порівнянні з ТВВП	Як правило є меншою у порівнянні з ТТ
Екологічний вплив		
атмосфера	Негативний вплив більший за рахунок пилювання відвалів	Негативний вплив менший
гідросфера	Негативний вплив більший за рахунок забруднення поверхневих вод	Негативний вплив менший
літосфера	Негативний вплив більший за рахунок відчуження значних земельних площ	Негативний вплив менший
Вплив на подальшу рекультивацію кар'єру	Реалізація буде більш тривалою та дороговартісною	Частково відбувається під час реалізації технології
Обмеження застосування	Відсутні	Форма залягання покладів КК, хоча технологічні рішення знаходять для більшості родовищ
Геомеханічна складова технології	Можливі негативні явища при відсипанні надвисоких відвалів та відвалів на слабкій основі	Можливі зсуви та оповзання бортів відвалів
Протяжність транспортних комунікацій	Більша	Менша у випадку внутрішнього відвалоутворення, може бути більшою у випадку засипки

Аналіз науково-технічної літератури та практики впровадження технологій із застосуванням виробленого простору дозволяють зробити наступні **висновки**:

1. Технології із застосуванням виробленого простору кар'єрів за сукупністю ознак можна назвати **ресурсозберігаючими технологіями** гірництва, які є одними з найбільш перспективних способів ресурсозбереження при видобутку корисних копалин відкритим способом, у тому числі на основі транспортних систем розробки.
2. Розвиток технологій із використанням виробленого простору зумовлений **комплексом передумов**: економічних, технологічних та екологічних. Тобто, основними факторами, що визначають ефективність застосування даних технологій підприємствами гірничодобувного комплексу, є зниження собівартості видобутку сировини та оздоровлення довкілля.
3. **Економічні передумови** ґрунтуються на зниженні відстаней транспортування, довжини транспортних комунікацій розкривних порід та зменшенню за рахунок цього витрат на транспортування та утримання автопарку та кар'єрних доріг.
4. **Екологічні передумови** полягають в тому, що найбільший шкідливий вплив на земну поверхню, повітряне та водне середовище надають зовнішні відвали та хвостосховища. При застосуванні технологій із використанні виробленого простору такий негативний вплив зменшується, інколи у декілька разів.
5. **Технологічні передумови** полягають у створенні кращих умов для подальшої рекультивації кар'єрів, а також у деяких геомеханічних аспектах формування відвалів.
6. Існує **дві основні технології** з використанням виробленого простору: розміщення розкривних порід у вже вироблені кар'єри та формування

внутрішнього відвалу у працюючому кар'єрі. Вони вимагають різних технологічних підходів.

7. Незважаючи на доведену досвідом ефективність та доцільність технологій внутрішнього відвалоутворення, їх **широке впровадження** в нашій країні ускладнюється, в основному, проблемами фінансового характеру, що визначаються необхідністю вкладення на довгостроковій основі інвестиційних ресурсів у відповідні технологічні проекти.

Проведений в роботі аналіз дозволяє сформулювати **рекомендації щодо напрямків подальших досліджень** даного питання:

1. Одним із найбільш перспективних технологічних рішень, спрямованих на ресурсозбереження при відкритому способі розробки, є **розширення сфери застосування технології ведення гірничих робіт з внутрішнім відвалоутворенням**. В даний час ця технологія широко застосовується в основному у вугільній промисловості, проте вона не знайшла належного застосування при розробці глибокозалягаючих крутопадаючих рудних та нерудних родовищ.
2. Подальше **наукове обґрунтування параметрів** технологій з внутрішнім відвалоутворення при розробці крутих та похилих родовищ.
3. Значний інтерес представляють **технології формування техногенних родовищ у виробленому просторі кар'єрів** із заздалегідь відомими об'ємами та характеристика складованих порід.

СПИСОК НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологічні схеми внутрішнього відвалоутворення та визначення параметрів екскаваторних відвалів при відпрацюванні глибоких кар'єрів / О. О. Анісімов // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. - 2017. - № 51. - С. 18-28.
2. Симоненко В.І. Технологічні аспекти еколого- та ресурсозберігаючих технологій відпрацювання прироцених запасів при ліквідації нерудних кар'єрів / В.І. Симоненко, О.В. Черняєв, Л.С. Гриценко // Сб. научних трудов НГУ. – 2017. – Вип. 50. – С. 92-100.
3. Темченко А.Г. Ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кривий Ріг: Мінерал, 2000. – 216 с.
4. Положення про проектування внутрішнього відвалоутворення та складування відходів виробництва в залізородних і флюсових кар'єрах. — Дніпропетровськ: Мінерал. — 2004. — 50 с.
5. Открыто-подземная разработка рудных месторождений / А.Д.Черных, Б.Н.Андреев, И.Н.Ошмянский. – К.: Техника, 2010. – 520 с.
6. Романенко О.В. Наукові основи технології внутрішнього відвалоутворення на крутоспадних родовищах : дис.д-ра техн. наук: 05.15.03 / Криворізький технічний ун- т. - Кривий Ріг, 2005.
7. Дослідження параметрів внутрішніх відвалів у виробленому просторі відпрацьованих глибоких кар'єрів / А.Ю.Дриженко, А.А.Адамчук, Тамуя Садо Арманд, В.Г.Тельнов // Розробка родовищ корисних копалин. – 2018. С.56-65.
8. Анісімов О.О. Етапи створення внутрішнього відвалу на глибокому кар'єрі / О. О. Анісімов, К.С.Бардаков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. - 2022. - № 1(68). - С. 7-17
9. Пшеничний В.Г. Патент на корисну модель України № 44540. Спосіб відкритої розробки крутоспадних родовищ корисних копалин з

- внутрішнім відвалоутворенням / Пшеничний В.Г., Пижик М.М. – U200903439; заявл. 10.04.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. №19.
10. Геомеханіка стійкості системи кар'єр - внутрішній відвал – природне середовище / М.С.Четверик, К.В. Бабій, О.А. Бубнова, В.М.Гребенник // Геотехнічна механіка. - 2018. - № 140. – С.176-187.
 11. Бакка М.Т. Дослідження атмосфери в кар'єрах: Навчальний посібник/ М.Т Бакка - Житомир: ЖДТУ, 2007.- 107 с.
 12. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Д.: НГУ, 2014. – 590 с.
 13. Открытая разработка крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием /А.Г. Шапарь, В.Т. Лашко, А.В. Романенко, В.Е. Киковка/ Под ред. Э.И. Ефремова. - К.: Наукова думка, 1992. - 115с.
 14. Романенко О.В. Обґрунтування та дослідження параметрів первинного внутрішнього відвалу на дні глибокого кар'єру // Екологія і природокористування. Збірник наукових праць. Вип.5. Дніпропетровськ. – 2003. - С.168-174.
 15. Technological Adaptation of Internal Dumping to the Operating Mode of Open Pit when Developing Inclined and Steeply Dipping Coal Seams Strata / VIth International Innovative Mining Symposium. Web of Conferences 315, 01015 (2021)
 16. Технологія внутрішнього відвалоутворення з формуванням тимчасового внутрішнього відвалу при відпрацюванні мульдоподібних покладів / В.Г. Пшеничний, В.В. Терещенко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ, 2016. — Вип. 129. — С. 106-114.
 17. Теоретические основы безотходных технологий открытой разработки рудных месторождений/ Г.Г. Саканцев, Т.М. Переход, Н.А.Свещинская // Проблемы недропользования. – 2019. _ №3. - С.86-94.
 18. Рациональное использование и охрана природных ресурсов при открытых горных работах: охрана земельных ресурсов в учебн.пособие / В.С.Коваленко, А.В.Николаев. – М., 2016. – 190 с.

- 19.Горовая А. И. Оценка влияния на окружающую среду процессов отвалообразования (на примере Львовско-Волинского угольного бассейна Украины) / А. И. Горовая, А. В. Павличенко, С. Л. Кулына // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – С. 197-207.
- 20.Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии при открытой разработке месторождений, М: Недра, 1993.
- 21.Новые технологии добычи и переработки полезных ископаемых / Ж.К. Каирбеков, Н. Жалгасулы, Е.А. Аубакиров. – Алматы: Казак университети, 2014. – 224 с.
- 22.Геотехнологии открытой добычи минерального сырья на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями / отв. ред. С.М. Ткач ; Ин-т горного дела Севера им. Н.В. Черского. – Новосибирск: Гео, 2013. – 307 с.
- 23.Папичев В.И. Оценка воздействия горного производства на природные ресурсы регионов. – Горный журнал. №4, 2005 – С. 94-96.
- 24.Дриженко А.Ю. Повышение эффективности горных работ при увеличении глубины железорудных карьеров / А.Ю.Дриженко, В.В.Лотоус // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002.
- 25.Технология разработки нижней части карьерного поля с внутренним отвалообразованием на крутопадающих месторождениях / М.В. Курленя, М.Л. Медведев, Ю.И. Колдырев, В.Е. Кисляков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – С. 214-223.
- 26.Симоненко В.И. Обоснование параметров открытой разработки мощных нерудных месторождений с внутренним отвалообразованием / Сб. научных трудов «Неделя горняка». – 2000.
- 27.Мартыненко В.П. Обоснование рациональных параметров горных работ глубоких карьеров при внутреннем отвалообразовании / Сб. научных трудов «Неделя горняка». – 1998. – С. 146-150.
- 28.Рассказов И.Ю. Совершенствование технологии отвалообразования на Хаканджинском золоторудном месторождении / И.Ю.Рассказов,

- М.И.Потапчук, А.А.Соболев, Г.А.Курсакин, В.В.Сайфулин // Вестник ТОГУ - 2016. № 2(41). – С.99-106.
- 29.Кузнецов В.С. Оценка влияния отвалов пустой породы на состояние атмосферного воздуха при открытой разработке железорудных месторождений, расположенных в северных регионах / В.С.Кузнецов // Записки Горного института. – 2013. – Т.203. – С.182-184.
- 30.Рутковский, Б.Т. Блочный способ отработки карьерных полей с большим простиранием / Б.Т. Рутковский // Разработка угольных месторождений открытым способом, сб. науч. тр., 1972. - с. 81-87.
- 31.Пшеничный В.Г. Технология внутреннего отвалообразования с формированием временного внутреннего отвала / В.Г.Пшеничный, Н.Н.Пыжик // Вісник Криворізького національного університету, вип. 37, 2014. – С.64-68.
- 32.Пшеничный В.Г. Определение рационального режима горных работ и внутреннего отвалообразования для карьеров, разрабатывающих крутопадающие месторождения/ В.Г.Пшеничный // Вісник Криворізького національного університету, вип. 31, 2012. – С.22-26.
- 33.Фролов С.В. Причины возникновения и преимущества формирования внутреннего отвалообразования в выработанном пространстве карьера / С.В.Фролов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – С. 397-408.
- 34.Экология и охрана природы при открытых горных работах: учебное пособие для вузов / П.И. Томаков, В.С. Коваленко, А.М. Михайлов, А.Т. Калашников; под ред. П.И. Томакова. – М., 1994. - 417 с.: ил.
- 35.Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы восстановления нарушенных земель при отвалообразовании на открытой угледобыче / Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, А.С. Мухина, В.В. Мосейкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – С. 5-24