

© О.В. Черняєв¹¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ГЛИБИНИ РОЗРОБКИ НЕРУДНИХ РОДОВИЩ СКЕЛЬНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН З ВНУТРІШНІМ ВІДВАЛОУТВОРЕННЯМ

© О. Cherniaiev¹¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

SUBSTANTIATION OF RATIONAL DEVELOPMENT DEPTH FOR NON- METALLIC MINERAL DEPOSITS WITH INTERNAL DUMPING

Мета. наукове обґрунтування доцільної глибини розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин, яка забезпечить раціональне використання природних ресурсів.

Методика досліджень. Для вирішення поставленої мети в роботі застосовувалися наступні методи дослідження: графоаналітичний – при встановленні максимальної глибини розробки родовищ будівельних матеріалів; техніко-економічний – при дослідженні й оцінці ефективності технологічних схем ведення гірничих робіт на доцільну глибину розробки; математичного моделювання – для визначення максимальної глибини розробки нерудних родовищ із внутрішнім відвалоутворенням; варіантів – при виборі раціональної схеми гірничих робіт під час поглиблення кар'єру, для визначення глибини розташування внутрішнього відвала й обґрунтування необхідної кількості його переносів на більш глибокі горизонти в процесі експлуатації родовища.

Результати. Максимальна глибина розробки нерудних родовищ з внутрішньокар'єрним складуванням порід розкриття досягається при формуванні внутрішнього відвала на глибині від 50 до 115 м, що дозволяє досягти максимальної глибини кар'єру в межах виробленого простору типових кар'єрів без додаткового відведення земельних площ. Раціональна глибина розробки систематизованих родовищ встановлюється на основі отриманих кореляційних залежностей визначення максимальної глибини розробки та обмежується мінімально допустимою рентабельністю підприємства, і становить для родовищ великої площі – 220÷240 м, середньої площі – 209÷238 м, малої площі – 134÷169 м відповідно.

Наукова новизна. Вперше для гранітних і кам'яних кар'єрів встановлена залежність їхньої граничної глибини відпрацювання від місця формування внутрішнього відвала розкриття порід, водопрпливу, відстані транспортування й кутів укусу бортів, що стало визначальним фактором доцільної розробки глибоких нерудних родовищ будівельних матеріалів із внутрішнім відвалоутворенням при мінімальному порушенні земель.

Практична значимість полягає в обґрунтованні доцільної глибини розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин при складуванні порід розкриття у вироблений простір, яка забезпечить раціональне використання природних ресурсів, а також в впровадженні результатів досліджень у робочих проектах розробки Любимівського, Чаплинського, Первомайського, Микитівського, Трикратьського, Софіївського й Новоукраїнського родовищ гранітів; в результаті дорозвідки запасів корисної копалини можливе їх додаткове прирощення у обсязі від 1 до 48 млн. м³, що забезпечить 5-40 років сталого функціонування гірничодобувного підприємства.

Ключові слова: нерудні кар'єри, технологічна схема розробки, глибина формування відвала, внутрішній відвал, максимальна глибина розробки.

Вступ. У практиці проектування кар'єрів скельних будівельних матеріалів на родовищах магматичних гірських порід їхня кінцева глибина розробки обмежується наступними параметрами й факторами: глибиною розвіданих запасів корисної копалини; збільшеними припливами підземних вод на великій глибині, що спричиняє різке підвищення витрат на водовідлив і дренаж; забудованістю території поблизу кар'єрних полів, що обмежує їхні просторові розміри; підвищенням радіоактивності корисних копалин із глибиною; невеликими поперечними розмірами покладу вивержених порід.

З більш ніж 300 кар'єрів скельних вивержених магматичних порід (близько 60-65 %) у цей час досягли своєї проектною глибини. Реальних можливостей розширення меж кар'єрних полів за рахунок збільшення запасів у бортах немає. Це пов'язане з необхідністю переносу доріг, будинків, споруд, трубопроводів, ЛЕП, а також відводом нових площ приватизованих земель. Залишається реалізувати інший шлях – розвивати гірничі роботи в глибину, приростивши запаси мінеральної сировини, розташовані нижче.

Зазначені вище положення обумовили актуальність наукової задачі обґрунтування граничної глибини розробки нерудних родовищ із внутрішнім відвалоутворенням, без додаткового розносу бортів за межі існуючого гірничого відводу, що обумовлює зниження грошових вкладень і площ додаткових земель під гірничий і земельний відводи.

Перші друковані праці з визначення меж кар'єрів датуються 1924 роком. Починаючи з 1927 року, інтенсивно досліджувалися завдання визначення глибини кар'єрів. У ті роки такі дослідження спиралися на кар'єри Криворіжжя, які вже мали глибину 80-100 м. Подальший розвиток цей напрямок отримав у працях наступних учених: академіків В.В. Ржевського, Л.Д. Шевякова, професорів О.І. Арсентьєва, М.Г. Новожилова, Б.П. Боголюбова, П.І. Городецького, А.Ю. Дриженка та багатьох інших вчених [1-8].

Проблеми розвитку теорії відкритої розробки родовищ нерудних корисних копалин відображені в працях багатьох вчених: А.Г. Шапаря, А.Ю. Дриженка, Р.С. Крисіна, Н.Т. Бакки, Е.І. Єфремова, Б.І. Шлайна, В.І. Горкунова, І.І. Гаврилюка, А.Д. Буянова, А.Г. Саакяна, В.І. Симоненка, Г.Р. Буткевича та інших вчених [8-25]. Аналіз цих робіт, проектних рішень і досліджень, виконаних на гірничодобувних підприємствах з видобутку нерудних корисних копалин показав, що ефективність відкритих гірничих робіт визначається переважно величиною споживаних земельних, паливно-енергетичних, трудових і фінансових ресурсів.

Постановка задачі досліджень. Відзначені вище результати досліджень присвячені проблемам удосконалення технології відкритої розробки родовищ з видобутку скельних нерудних корисних копалин. У той же час наукове обґрунтування раціональної граничної глибини розробки таких родовищ, особливо при їхній розробці із внутрішнім відвалоутворенням порід розкриву не виконано. У зв'язку з цим постає важливе завдання встановлення раціональної глибини розробки нерудних родовищ будівельних матеріалів з видобутку сировини для виробництва щебеневої продукції.

Основна частина. Кар'єри з видобутку скельних нерудних корисних копалин для виробництва щебеневої продукції функціонують у багатьох регіонах держави, більшість цих родовищ відпрацьовуються на глибину 40-130 м й у рідких випадках 150 м. Кар'єри малої площі (до 20 га) відпрацьовуються на глибину 43÷93 м (у середньому 60 м), середньої площі (20÷60 га) – на глибину 50÷100 м (у середньому 77 м), великої площі (більше 60 га) – на глибину 58÷130 м (у середньому 87 м) [23-30].

Родовища вивержених і метаморфічних порід відрізняються значною розмаїтістю за складом, потужністю, будові покладів, розташуванню щодо позначок пануючої поверхні, формі й розмірам, затвердженням запасам, обводненості й водообільності, потужності й характеру порід розкриву.

Великий вплив на якість і фізико-механічні властивості гранітів має глибина розробки корисної копалини. Зі збільшенням глибини породи менше піддавалися вивітрюванню, внаслідок чого збільшується міцність корисної копалини. Так само спостерігається зменшення тріщинуватості, що може вплинути на зміну системи або схеми розробки родовища, але все-таки може бути присутньою через природні фактори.

На глибину відпрацювання таких родовищ мають вплив безліч факторів, які обмежують глибину відпрацювання кар'єрів будівельних матеріалів [9-31]:

- просторові розміри родовищ (довжина, ширина);
- глибина розвіданих запасів корисної копалини;
- збільшення припливу підземних (зі збільшенням глибини) і поверхневих вод (зі збільшенням просторових розмірів кар'єрного поля);
- зміна показників радіоактивності й інших шкідливих випромінювань корисної копалини зі збільшенням глибини відпрацювання;
- забудованість території поблизу кар'єрних полів, що обмежує їхні просторові розміри;
- зміна гідрогеологічного режиму в прилягаючих населених пунктах і на сільськогосподарських угіддях, розташованих поблизу родовищ;
- об'єми порід розкриву, що закладовані у виробленому просторі;
- економічні показники раціонального видобутку сировини (собівартість видобутку 1 м³ та рівень рентабельності).

На території України розташовано більше 600 нерудних родовищ скельних корисних копалин. Вони розташовані у всіх її областях, за винятком Волинської й Чернігівської [9-11, 14, 23, 25-30]. Більше 87 % серед них – гранітні родовища, а також родовища інших скельних корисних копалин магматичного, метаморфічного й осадового походження, придатних для виробництва будівельних матеріалів, в основному буту й щебеню.

У розробленій методиці оптимізації глибини відпрацювання нерудних родовищ із внутрішньокар'єрним складуванням порід розкриву [27] визначальними показниками виступають довжина й ширина родовища. Ці параметри враховуються у визначенні кінцевої глибини кар'єрного поля. Автором пропонується використати їх як узагальнюючу ознаку при поділі кар'єрних полів нерудних родовищ на групи. Одним з найважливіших факторів, що впливають на реалізацію

ресурсозберігаючої технології розробки вищезгаданих родовищ при внутрішньокар'єрному складуванні розкривних порід є потужність порід розкриву. Аналізуючи вищезазначене розроблено загальну систематизацію нерудних родовищ скельних корисних копалин для виробництва щебеневої продукції, де виділення базових родовищ, як об'єктів подальших досліджень, виконано за просторовими розмірами та потужністю порід розкриву [26].

З урахуванням прийнятих класифікаційних критеріїв виділені 9 базових (типових) родовищ, усереднені параметри яких наведені в роботі [26]. Ці типи родовищ запропоновані як основні об'єкти подальших досліджень ресурсозберігаючих технологій і розробки методики визначення граничної економічно доцільної глибини їх відпрацювання із внутрішньокар'єрним розміщенням розкривних порід. Застосування запропонованих базових родовищ гранітної й кам'яної сировини забезпечить проведення досліджень із великою збіжністю отриманих теоретичних і практичних результатів, що є важливим при застосуванні еколого-, земле- і ресурсозберігаючих технологій розробки родовищ вивержених гірських порід для виробництва щебеневої продукції й будівельних матеріалів.

Виходячи з поставлених завдань з дослідження раціональних схем відпрацювання нерудних кар'єрів будматеріалів, у роботі [28] розглянуто можливі схеми ведення гірничих робіт та встановлено найбільш раціональну, котра забезпечить доцільність й ефективність розробки родовищ.

Визначення граничної глибини розробки на гранітних кар'єрах виконуємо з урахуванням формування внутрішнього відвала розкривних порід і місця його розташування (рис. 1, 2).

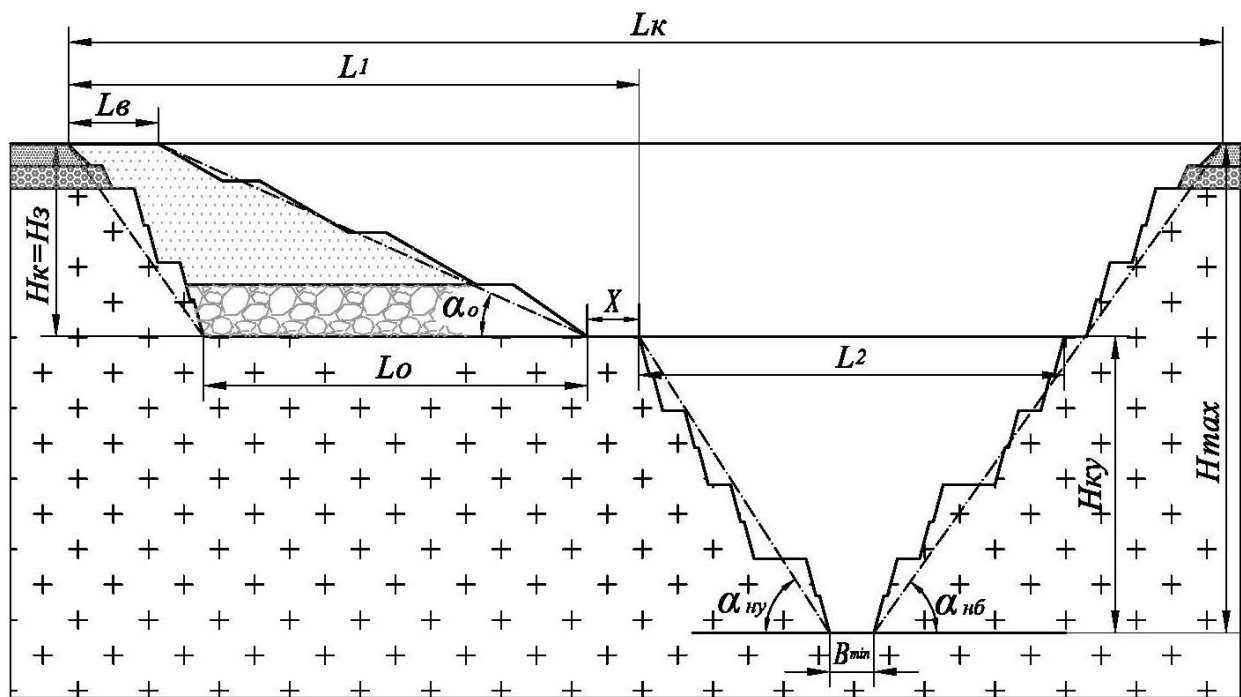


Рис. 1. Схема до визначення параметрів відпрацювання кар'єру до граничної глибини за його довжиною

Гранична глибина кар'єру для схеми в [28] складе:

$$H_{\max} = H_3 + \frac{\left[L_K - \left(\frac{V_o}{B_o \times H_o} + \frac{H_o}{2} \times (\operatorname{ctg} \alpha_{B,p} - \operatorname{ctg} \alpha_H) + X + 2 \times H_3 \times \operatorname{ctg} \alpha_H \right) \right] - B_{\min}}{2 \times \operatorname{ctg} \alpha_p}, \text{ м} \quad (1)$$

де: H_3 – глибина формування відвала, м; L_K – довжина кар'єрного поля, м; V_o – об'єм внутрішнього відвала, м³; B_o – ширина внутрішнього відвала, м; H_o – висота внутрішнього відвала, м; $\operatorname{ctg} \alpha_{B,p}$ – результуючий кут укошу відвала, град; α_H – неробочий кут укошу борта, град; X – площадка безпеки від відвала до верхньої брівки поглиблюваної частини, м; B_{\min} – мінімальна ширина дна кар'єру, м; α_p – результуючий кут укошу борта, град;

Граничну глибину кар'єру для схеми г [28], можна встановити, у випадку якщо $L_o \geq L_2$, за формулою:

$$H_{\max} = H_3 + \frac{\left(\frac{V_o}{B_o \times H_o} + \frac{H_o}{2} \times (\operatorname{ctg} \alpha_{B,p} - \operatorname{ctg} \alpha_H) \right) - B_{\min}}{2 \times \operatorname{ctg} \alpha_p}, \text{ м} \quad (2)$$

Гранична глибина розробки по ширині кар'єрного поля складатиме:

$$H_K = \frac{B_K - B_{\min}}{2 \times \operatorname{ctg} \alpha_p}, \text{ м} \quad (3)$$

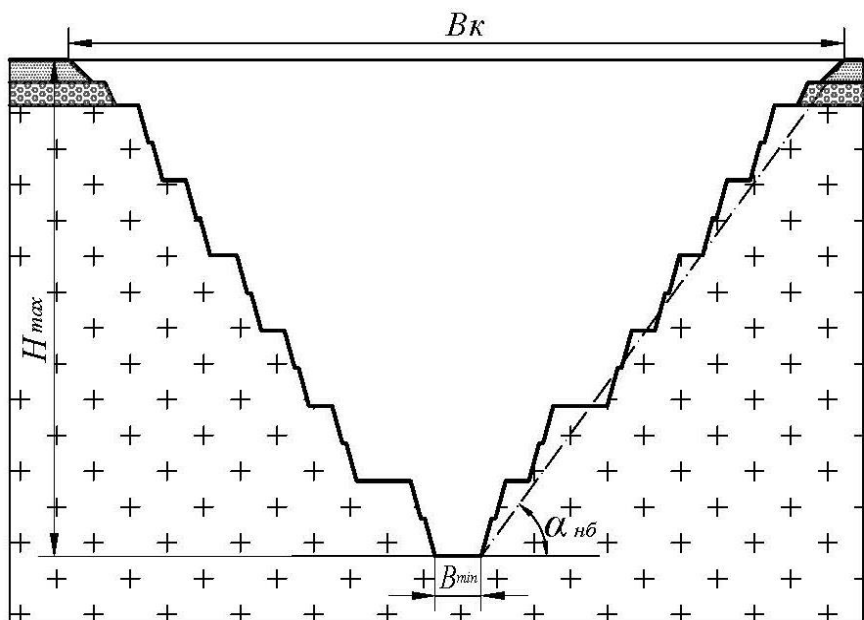


Рис. 2. Схема до визначення параметрів відпрацювання кар'єру до граничної глибини за його шириною

Для визначення максимальної глибини базових родовищ встановимо взаємозв'язок їх між собою шляхом статистичної обробки по систематизованим групам кар'єрних полів [26]. Обробка основних параметрів обстежуваних кар'єрів

виконана на основі розроблених методик [27-29] з використанням сучасних комп'ютерних технологій методами математичної статистики. За допомогою методу найменших квадратів встановлено кореляційні залежності максимальної глибини від глибини формування внутрішнього відвалу.

В результаті розрахунків встановлені залежності максимальної глибини розробки (H_{\max}^k) від глибини формування внутрішнього відвалу (H_3), аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що у найбільшій мірі глибина формування внутрішнього відвалу впливає на максимальну глибину розробки на кар'єрах з малою та середньою потужністю розкривних порід. А оптимальна глибина розташування внутрішнього відвалу, з урахуванням параметрів кар'єрного поля, проектної та доцільної глибини відпрацювання родовища становить:

для родовищ великої площі: з малою та середньою потужністю розкривних порід – максимальна глибина не залежить від глибини розташування внутрішнього відвалу; з великою потужністю розкривних порід – 70-115 м.

для родовищ середньої площі: – 50-90 м;

для родовищ малої площі: – 50-85 м.

З вищезазначеного, на основі результатів дослідження, можна зробити висновки, що за глибину формування внутрішнього відвалу раціонально приймати проектну глибину кар'єру (межа підрахунку запасів).

Встановлення максимальної глибини розробки базових родовищ від головних параметрів кар'єрного поля виконано шляхом статистичної обробки по систематизованим типам родовищ з використанням раніше розробленої методики [27]. Обробка основних параметрів обстежуваних кар'єрів виконана з використанням сучасних комп'ютерних технологій методами математичної статистики. За допомогою методу найменших квадратів встановлено кореляційні залежності максимальної глибини відпрацювання (H_{\max}^k) від довжини (L_k), ширини (B_k), потужності розкривних порід (h_B) і глибини формування внутрішнього відвалу (H_3) (табл. 1), для типових нерудних родовищ (табл. 2).

За залежностями (табл. 1) отримані результати максимальної глибини відпрацювання нерудних родовищ, а також інших основних параметрів і показників, які наведені у таблиці 2.

Таблиця 1
Кореляційні залежності максимальної глибини відпрацювання від основних параметрів типових родовищ

Тип родовищ	Група родовищ	Залежності
1 для родовищ великої площі:	малої потужності розкривних порід	$H_{\max}^{\kappa} = 17,04 - 0,98h_B + 0,02L_K + 0,43B_K - 0,12H_3$
	середньої потужності розкривних порід	$H_{\max}^{\kappa} = 13,85 - 1,88h_B + 0,01L_K + 0,46B_K + 0,33H_3$
	великої потужності розкривних порід для схеми в: для схеми г:	$H_{\max}^{\kappa} = 250,07 + 0,72h_B + 0,19L_K + 0,45B_K - 0,38H_3$
		$H_{\max}^{\kappa} = -4865,48 + 100,0695h_B - 2,335L_K + 7,737B_K - 16,33H_3$
		$H_{\max}^{\kappa} = 10,2 - 5,46h_B + 0,41L_K + 0,01B_K + 0,32H_3$
2 для родовищ середньої площі:	по довжині кар'єрного поля:	$H_{\max}^{\kappa} = 7,97 + 0,01h_B - 0,01L_K + 0,49B_K + 0,12H_3$
	по ширині кар'єрного поля:	$H_{\max}^{\kappa} = 31,96 - 5,35h_B + 0,35L_K - 0,02B_K + 0,72H_3$
	середньої потужності розкривних порід	$H_{\max}^{\kappa} = 71,82 - 0,71h_B - 0,004L_K + 0,39B_K - 0,11H_3$
	по довжині кар'єрного поля:	
	по ширині кар'єрного поля:	
3 для родовищ малої площі:	великої потужності розкривних порід	
	по довжині кар'єрного поля:	$H_{\max}^{\kappa} = 48,40 - 2,78h_B + 0,30L_K + 0,12B_K - 0,51H_3$
	для схеми в:	$H_{\max}^{\kappa} = -164,558 + 8,196h_B + 0,533L_K - 0,384B_K + 0,63H_3$
	для схеми г:	$H_{\max}^{\kappa} = 543,74 - 3,0h_B - 1,07L_K + 1,41B_K + 11,67H_3$
	по ширині кар'єрного поля:	
2 для родовищ середньої площі:	малої потужності розкривних порід	$H_{\max}^{\kappa} = 23,37 - 4,74h_B + 0,37L_K + 0,07B_K - 0,005H_3$
	по довжині кар'єрного поля:	$H_{\max}^{\kappa} = -4,006 + 0,589h_B + 0,003L_K + 0,502B_K + 0,015H_3$
	по ширині кар'єрного поля:	
	середньої потужності розкривних порід	$H_{\max}^{\kappa} = 53,45 - 4,86h_B + 0,34L_K - 0,03B_K + 0,25H_3$
	по довжині кар'єрного поля:	$H_{\max}^{\kappa} = -22,258 + 0,09h_B - 0,013L_K + 0,537B_K + 0,285H_3$
по ширині кар'єрного поля:		
3 для родовищ великої площі:	великої потужності розкривних порід	$H_{\max}^{\kappa} = -1,14 - 3,54h_B + 0,58L_K - 0,27B_K - 0,003H_3$
	для схеми в: для схеми г:	$H_{\max}^{\kappa} = 31,14 + 0,697h_B + 0,082L_K + 0,528B_K - 0,491H_3$

Таблиця 2
 Головні параметри та показники кар'єрів, при відпрацюванні їх на максимальну глибину

Показники	Група родовищ по площі								
	Великої площі			Середньої площі					
	Тип родовищ по товщі порід розкриву								
	Малої потужності	Середньої потужності	Великої потужності	Малої потужності	Середньої потужності	Великої потужності			
Потужність корисної копалини, $H_{кес}$, м	67,3	71	73,3	58,9/72,4	64,6/62,9	75,7/71,2	45,2/54,1	46,0/53,5	49,6
Потужність розкривних порід, h_p , м	7,6	15,6	35	7,6/6,8	15,8/14,2	25,6/24,9	8,1/8,6	13,6/15,1	23,8
Довжина кар'єрного поля, $L_{к}$, м	1198	1263	1197	569/754	592/786	656/828	371/502	450/459	509
Ширина кар'єрного поля, $B_{к}$, м	774	690	770	503/464	493/400	494/427	308/315	338/262	299
Об'єм відвалу, $V_{в}$, тис.м ³	8,17	16,4	36,8	2,6/2,9	5,4/5,3	9,0/9,88	1,12/1,64	2,4/2,2	3,9
Глибина формування внутрішнього відвалу, H_3	75	87	108	67/79	80/77	100/96	53/63	60/68	73
Основні параметри за схемою 6									
Довжина кар'єру по дну, на котрій буде здійснюватися приорошення запасів, L_2 , м	582	747	417	320/468	239/400	175/294	177/245	176/182	120
Глибина приорошення запасів, $H_{пр}$, м	313	268	219	161/159	121/132	87/121	88/95	90/73	91
Об'єм приорошених запасів, $V_{пр}$, м ³	55,5	35,9	21,1	8,5/9,4	5,0/5,8	2,6/4,0	1,75/2,43	2,0/1,1	0,83
Максимальна глибина розробки, $H_{макс}$, м	388	355	327	228/238	201/209	187/217	141/158	155/141	134
Основні параметри за схемою 2									
Довжина кар'єру по дну, на котрій буде здійснюватися приорошення запасів, $L_{ос}$, м	230	378	598	148/163	228/267	314/298	123/152	188/182	211
Глибина приорошення запасів, $H_{пр}$, м	150	255	277	85/92	114/129	158/212	70/65	98/73	96
Об'єм приорошених запасів, $V_{пр}$, м ³	12,4	22,6	39,3	3,0/3,0	5,1/4,6	6,9/5,4	1,3/1,4	2,55/1,34	2,42
Коефіцієнт переєкквації, $K_{п}$, м ³ /м ³	0,66	0,72	0,93	0,86/0,97	1,06/1,15	1,3/1,82	0,86/1,17	0,94/1,6	1,6
Максимальна глибина розробки, $H_{макс}$, м	225	342	385	152/171	194/206	258/217	123/128	154/141	169

Примітки: чисельник – по довжині кар'єрного поля; знаменник – по ширині кар'єрного поля

Аналізуючи отримані результати, залежності максимальної глибини розробки від головних параметрів кар'єрного поля (довжини, ширина та потужності розкриву) та глибини формування внутрішнього відвалу, можна зробити висновок, що максимальна глибина розробки типових родовищ складе:

1) для родовищ великої площі:

- з малою потужністю розкривних порід: 388 м;
- з середньою потужністю розкривних порід: 355 м;
- з великою потужністю розкривних порід: 327 м (385*);

2) для родовищ середньої площі:

- з малою потужністю розкривних порід: 238 м;
- з середньою потужністю розкривних порід: 209 м;
- з великою потужністю розкривних порід: 217 м (258*);

3) для родовищ малої площі:

- з малою потужністю розкривних порід: 158 м;
- з середньою потужністю розкривних порід: 155 м;
- з великою потужністю розкривних порід: 134 м (169*);

* максимальна глибина розробки за схемою *г* [28].

Об'єм прирощених запасів складе:

- 1) для кар'єрів великої площі: 21-55 млн.м³ (58-68**);
- 2) для кар'єрів середньої площі: 2,5-9,5 млн.м³ (9-12**);
- 3) для кар'єрів малої площі: 0,8-2,5 млн.м³ (2,4-4,6**);

** об'єм прирощених запасів за схемою *г* [28], при цьому коефіцієнт переекскавації, при переміщенні внутрішнього відвалу на нижні горизонти, буде складати від 0,66 до 1,82 м³/м³.

Раніше у робах [27-29] було доведено і аргументовано доцільність обраних критеріїв для встановлення оптимальної економічно-доцільної глибини розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин з видобутку сировини для виробництва щебеневої продукції. Цим критерієм є – собівартість видобутку 1 м³ корисної копалини.

Для розрахунку собівартості видобутку 1 м³ гірничої маси необхідно визначити статті витрат з яких складаються загальні їх показники. Аналізуючи всі статті витрат зроблено висновки, що всі витрати можна розподілити на:

незмінні (сталі) витрати – витрати, які суттєво не змінюються з глибиною розробки (змінюються на величину коефіцієнта часу та коефіцієнта враховуючого ускладнення роботи обладнання з глибиною ведення робіт);

витрати які змінюються із збільшенням глибини розробки кар'єру;

можливі витрати – витрати які з'являються при застосуванні схеми *г*, на IV етапі відпрацювання родовища [28].

До сталих витрат відносяться наступні: витрати на буропідривні роботи, витрати на виймання корисної копалини, витрати на переробку корисних копалин і сортування готової продукції.

Буріння свердловин на таких кар'єрах, як правило, виконуються власним обладнанням з використанням бурових верстатів: 2 СБШ-250, СБШ-250 МН, СБУ-200, а також широке поширення набуло ведення бурових робіт із застосуванням

сучасних бурових верстатів типу Roc-L6, Roc-L8 фірми «Atlas Copco», з діаметром свердловин від 95 до 180 мм. За даними діючих гірничодобувних підприємств витрати на ці статті на сьогоднішній день складають – 20÷25 грн/м³. Підривні роботи виконуються, в основному, підрядними організаціями. Дані роботи проводяться із застосуванням емульсійних вибухових речовин типу: Анемікс, Україніт та інші, з неелектричною системою ініціювання типу – «Nonel» і «Імпульс». Вартість підривних робіт на сьогоднішній день складають – 35÷45 грн/м³. Отже загальні витрати на проведення буро підривних робіт складають – 55÷65 грн/м³.

Виймання корисної копалини на нерудних родовищах з видобутку сировини для виробництва буто-щебеневої продукції виконується екскаваторами з ємністю ковша до 8 м³. В основному використовуються екскаватори типів Е-2503, ЕКГ-3.2, ЕКГ-4.6 Б, ЕКГ-5 А, ЕКГ-8 І. Навантаження гірничої маси здійснюється в автосамоскиди типу – КраЗ і БелАЗ вантажопідйомністю від 12 до 42 тон. В останнє десятиліття широке поширення, отримало імпордне обладнання: прямі і зворотні гідравлічні мехлопати фірм: Caterpillar, Komatsu, Hyundai, Liebherr, Daewoo, JSB, Volvo, Hitachi та ін., з ємністю ковша від 1,2 до 4,7 м³ з завантаженням гірничої маси в автосамоскиди вантажопідйомністю від 27 до 60 т фірм: Foton, Man, Iveco, Scania, Volvo. Усереднені витрати на виймально-навантажувальні роботи за 2019-2020 р.р. складають – 5,3÷10,5 грн/м³. [32].

Переробка та сортування корисної копалини, як правило, виконується на стаціонарних дробильно-сортувальних заводах (ДСЗ), на котрих застосовується наступне обладнання: дробарки типу: СМ-16, СМД-109, СМД-111, КМД-1750, КСД-1200; грохота типу: ГТ-41, ГІЛ-43, ГІЛ-52; стрічкові конвеєри. Загальна потужність ДСЗ складає 75-550 кВт.год., що відображається на собівартості переробки та сортуванні корисної копалини і складає 5÷12 кВт.год/м³. Усереднені витрати на переробку корисної копалини і сортування готової продукції за 2019-2020 рр. складають: для стаціонарних дробильно-сортувальних заводів (ДСЗ) – 24÷32 грн/м³.

До частини витрат, що зростають із збільшенням глибини розробки кар'єру відносяться: витрати на водовідлив та на транспортування корисної копалини на ДСЗ. Змінні показники цих статей, від глибини розробки родовищ, наведені у роботах [14, 23-25, 28, 29, 32, 33].

Оптимізація економічно-доцільної глибини розробки скельних нерудних родовищ повинна проводитися виходячи з порівняння максимально допустимої собівартості виготовлення готової фракційної продукції, яка в свою чергу залежить від ринкової ціни на продукцію.

На сьогоднішній день оптова вартість щебеневої продукції становить:

- фракція 0÷5 мм – 20÷150 грн/т;
- фракція 5÷10 мм – 160÷250 грн/т;
- фракція 10÷20 мм – 170÷250 грн/т;
- фракція 20÷40 мм – 150÷200 грн/т.

Розглянувши роботу дробильно-сортувальних заводів та аналізуючи їх ефективність, та вихід готової продукції, можна зробити висновки, що ціна збуту 1 м³ готової продукції (у твердому тілі) складає – 350÷400 грн./м³.

Як вже зазначалося – мінімально допустима рентабельність підприємства повинна бути не менше банківської ставки по депозиту, яка на сьогоднішній день становить 16 %. Отже мінімально допустима «повна собівартість» буде складати – 290÷340 грн./м³. Розглянемо, як буде змінюватись економічно-доцільна глибина розробки типових кар'єрів:

Аналізуючи отримані результати зміни собівартості видобутку та переробки щебеневої продукції від глибини розробки типових родовищ, можна обґрунтувати економічно-доцільну глибину розробки типових кар'єрів, що наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Економічно-доцільна глибина розробки типових родовищ

Група родовищ по просторовим розмірам	Тип родовищ по потужності порід розкриття	Глибина кар'єру, м		Собівартість, С, грн/м ³
		Максимальна (табл. 1, 2)	Економічно доцільна	
Великої площі	Малої потужності	$\frac{388}{385}$	$\frac{220 \div 240}{200}$	$\frac{290 \div 300}{290}$
	Середньої потужності	$\frac{355}{258}$	$\frac{220 \div 240}{230}$	$\frac{290 \div 300}{290}$
	Великої потужності	$\frac{327}{169}$	$\frac{220 \div 240}{169}$	$\frac{290 \div 300}{265}$
Середньої площі	Малої потужності	238	225 ÷ 238	280 ÷ 290
	Середньої потужності	209	209	260 ÷ 275
	Великої потужності	217	217	265 ÷ 280
Малої площі	Малої потужності	158	158	190 ÷ 220
	Середньої потужності	155	155	185 ÷ 215
	Великої потужності	134	134	170 ÷ 190

Примітки: чисельник – схема в; знаменник – схема з [28].

Висновки. 1. Встановлено, що оптимальна глибина формування внутрішнього відвалу (H_3), яка забезпечує максимальну глибину розробки (H_{\max}^K), становить: на родовищах великої площі з великою потужністю порід розкриття $H_3=70-$

115 м; на родовищах середньої площі – $H_3=50-90$ м; на родовищах малої площі – $H_3=50-85$ м. На кар'єрах великої площі з малою та середньою потужністю порід розкриву H_{\max}^k не залежить від глибини формування внутрішнього відвалу. Глибиною формування внутрішнього відвалу доцільно приймати проектну глибину кар'єру.

2. На основі отриманих нових залежностей між максимальною глибиною розробки та головними параметрами кар'єрних полів (довжиною і шириною, потужністю порід розкриву та глибиною формування внутрішнього відвалу) встановлена величина H_{\max}^k для типових родовищ, відповідно з малою, середньою та великою потужністю порід розкриву: великої площі – 388, 355, 327 (385) м; середньої площі – 238, 209, 217 (258) м; малої площі – 158, 155, 134 (169) м. При цьому величина, наведена в дужках, відповідає умовам формування внутрішнього відвалу з повторним перенесенням його у вироблений простір після дробки прирощених запасів.

3. Визначено, що на зростання повної собівартості готової продукції з глибиною ведення видобувних робіт в найбільшій мірі впливають витрати на водовідлив та транспортування корисної копалини до дробильно-сортувального заводу. Величина витрат на водовідлив для типових родовищах зростає від 1,9 до 12,45 грн/м³, а витрати на транспортування – від 26 до 323 грн/м³.

4. З урахуванням того, що рентабельність підприємства повинна бути не меншою банківської ставки по депозиту (16 %) визначено мінімально допустиму повну собівартість готової продукції в межах 290÷340 грн/м³. На основі цього, за розробленою методикою обґрунтовано економічно-доцільну глибину розробки типових родовищ, яка становить: для родовища великої площі – 220÷240 м; для родовищ середньої площі з малою, середньою і великою потужністю розкривних порід – 225÷238 м, 209 м, 217 (230) м відповідно; для родовищ малої площі з малою, середньою і великою потужністю розкривних порід – 158 м, 155 м і 134 (169) м відповідно. При цьому величина глибини наведена в дужках відповідає умовам формування внутрішнього відвалу з повторним перенесенням його в вироблений простір.

5. Обґрунтована глибина розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин при складуванні порід розкриву у вироблений простір, дозволить в результаті дорозвідки запасів корисної копалини їх додаткове прирощення у обсязі від 1 до 48 млн. м³, що забезпечить 5-40 років сталого функціонування гірничодобувного підприємства.

Перелік посилань

1. Арсентьев, А.И. (1970). *Определение производительности и границь карьеров*. Недра.
2. Арсентьев, А.И., & Слуцман, Л.А. (1970). Установление рационального направления углубки карьера методом изолиний. В *Глубокие карьеры* (с. 114–122). Наукова думка.
3. Арсентьев, А.И. (1982). Некоторые законы горной науки, применяемые при проектировании вскрытия и систем разработки. В *Проектирование открытой и подводной разработки месторождений* (с. 41–22). Ленинградский горный институт.
4. Арсентьев, А.И. (1984). Взаимодействие горных работ в рабочей зоне карьера. *Горный журнал*, (9), 35–38.

5. Дриженко, А.Ю., & Якубенко, Л.В. (1982). Установление параметров разработки глубоких карьеров диагональными блоками. В *Разработка рудных месторождений* (с. 67-81). Техника.
6. Дриженко, А.Ю. (1974). Основные закономерности формирования рабочей зоны при разработке глубоких карьеров. В *Разработка рудных месторождений* (с. 15-18). Техника.
7. Городецкий, П.И. (1949). О глубине открытых работ при крутопадающих месторождениях. *Горный журнал*, (10).
8. Боголюбов, Б.П. (1950). Целесообразные границы открытых работ. *Горный журнал*, (11), 10-15.
9. Шлаин, Б.И. (1985). *Разработка месторождений нерудного сырья*. Недра.
10. Бакка, Н.Т., Кузьменко, А.Х., & Сачков, Л.С. (1993). *Добыча природного камня: Ч.1. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений природного камня*. УМКВО.
11. Чесноков, М.М. (1968). *Разработка гранитных месторождений*. АН СССР.
12. Саакян, А.Г. (1994). *Разработка ресурсосберегающих технологических схем производства горных работ на примере Рыбальского гранитного карьера*. Дисс. канд. техн. наук.
13. Кучерявый, Ф.И., Крысин, Р.С., & Бурков, Ю.П. (1966). *Совершенствование технологии разработки гранитных карьеров*. Техніка.
14. Симоненко, В.И. (2004). *Разработка энергосберегающей технологии добычи скальных нерудных полезных ископаемых Украины*. Дисс. д-ра техн. наук.
15. Буткевич Г.Р. (1990). *Прогрессивная технология разработки месторождений сырья для производства нерудных строительных материалов*. Стройиздат.
16. Непутин, Л.И., & Долженко, Ю.Л. (1987). Совершенствование технологии горных работ на карьерах. *Горный журнал*, (1), 12-13.
17. Гопанюк, Д.Г., Швець, В.Ю., Стрилець, А.П., & Пацьора, С.В. (2007). Ефективна технологія проведення вибухових робіт із врахуванням зменшення негативного впливу на довкілля. *Науково-технічний збірник NTV442457*. Національний гірничий університет.
18. *Технико-рабочий проект разработки Тритузновского месторождения гранитов Днепронетровского карьера ПО «Днепронерудпром»: Пояснительная записка*. (1981). Укргеолпром.
19. *Рабочий проект реконструкции и расширения карьера №2 Новопавловского месторождения гранитов ПО «Днепронерудпром». № ГР 1694-5-ТГ*. (1978). Южгипростром.
20. *Разработка Болеславчекского месторождения гранитов ОАО «Первомайский карьер «Гранит»: Рабочий проект. № ГР 0106U012634* (2006). Национальный горный университет.
21. *Разработка Бантышевского месторождения монценитов в Кировоградской обл.: Корректировка рабочего проекта. № ГР 0106U012637* (2006). Национальный горный университет.
22. *Проект разработки Трикратского месторождения гранитов: Рабочий проект*. (2008). Национальный горный университет.
23. Симоненко, В.И. (2011). *Розробити технологічні основи еколого- й енергосберігаючого виробництва при видобутку твердої нерудної сировини в межах санітарно-захисних зон*. *Звіт НДР №ДР 011U000532*. Державний ВНЗ «НГУ».
24. Симоненко, В.И., Черняев, О.В., Гриценко, Л.С., & Черняева, О.В. (2018). Технологічні параметри розробки нерудних кар'єрів з вивезенням сировини конвеєрним транспортом при внутрішньому відвалоутворенні. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (55), 78-87.
25. Симоненко, В.И. (2013). *Розробка технологічних, управлінських рішень, нормативної документації, системи екологічного моніторингу щодо природоохоронної діяльності гірничих підприємств*. *Звіт про НДР (заключний). №ДР 0112U000875*. Національний гірничий університет.
26. Cherniaiev, O.V. (2017). Systematization of the hard rock non-metallic mineral deposits for improvement of their mining technologies. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 15-21.

27. Симоненко, В.И., & Черняев, А.В. (2006). К установлению зависимостей между параметрами системы разработки при отработке нерудных месторождений с внутренним отвалообразованием. *Геотехнічна механіка*, (62), 93-97.
28. Черняев, А.В. (2006). Эффективность доработки нерудных месторождений нерудных строительных материалов в глубину ниже границы подсчета запасов. *Геотехнічна механіка*, (65), 172-178.
29. Черняев, О.В. (2008). До вибору критеріїв для встановлення раціональної глибини розробки гранітних родовищ із внутрішнім відвалоутворенням. *Геотехнічна механіка*, (77), 219-226.
30. Черняев, О.В. (2017). Технологічні аспекти формування стійких приконтурних та внутрішніх відвалів при розробці нерудних родовищ. *Збірник наукових праць НГУ*, (51), 84-93.
31. Симоненко, В.И., Черняев, О.В., & Гриценко, Л.С. (2017). Технологічні аспекти еколого- та ресурсозберігаючих технологій відпрацювання прирощених запасів. *Збірник наукових праць НГУ*, (50), 92-100.
32. Symonenko, V. I., Haddad, J. S., Cherniaiev, O. V., Rastsvietaiev, V. O., & Al-Rawashdeh, M.O. (2019). Substantiating Systems of Open-Pit Mining Equipment in the Context of Specific Cost. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*.
33. Черняев, О.В., & Бондаренко, В.О. (2017). Дослідження техніко-економічних показників транспортування гірничої маси при розробці гранітних кар'єрів. *В всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Молодь: наука та інновації»*, 10-11.

АННОТАЦИЯ

Цель исследования – научное обоснование экономически-целесообразной глубины разработки нерудных месторождений скальных полезных ископаемых, которая обеспечит рациональное использование природных ресурсов.

Методика. Для решения поставленной цели в работе применялись следующие методы исследования: графоаналитический - при определении максимальной глубины разработки месторождений строительных материалов; технико-экономический - при исследовании и оценке эффективности технологических схем ведения горных работ на целесообразную глубину разработки; математического моделирования - для определения максимальной глубины разработки нерудных месторождений с внутренним отвалообразованием; вариантов - при выборе рациональной схемы горных работ при углубке карьера, для определения глубины расположения внутреннего отвала и обоснование необходимого количества его переносов на более глубокие горизонты в процессе эксплуатации месторождения.

Результаты. Максимальная глубина разработки нерудных месторождений с внутрикарьерным складированием пород вскрыши достигается при формировании внутреннего отвала на глубине от 50 до 115 м, что позволяет достичь максимальной глубины карьера в пределах выработанного пространства типовых карьеров без дополнительного отвода земельных площадей. Рациональная глубина разработки систематизированных месторождений устанавливается на основе полученных корреляционных зависимостей определения максимальной глубины разработки и ограничивается минимально допустимой рентабельностью предприятия, и составляет для месторождений большой площади - 220 ÷ 240 м, средней площади - 209 ÷ 238 м, малой площади - 134 ÷ 169 м соответственно.

Научная новизна. Впервые для гранитных и каменных карьеров установлена зависимость их предельной глубины отработки от места формирования внутреннего отвала вскрышных пород, водопритоков, расстояния транспортировки и углов откоса бортов, стало определяющим

фактором целесообразной разработки глубоких нерудных месторождений строительных материалов с внутренним отвалообразованием при минимальном нарушении земель.

Практическое значение заключается в обосновании целесообразной глубины разработки нерудных месторождений скальных полезных ископаемых при складировании пород вскрыши в выработанное пространство, которое обеспечит рациональное использование природных ресурсов, а также в внедрены результатов исследований в рабочих проектах разработки Любимовского, Чаплинский, Первомайского, Никитовского, Трикратский, Софиевского и Новоукраинского месторождений гранитов; в результате доразведки запасов полезного ископаемого, возможно их дополнительное приращение в объеме от 1 до 48 млн.м³, что обеспечит 5-40 лет работы горнодобывающего предприятия.

Ключевые слова: нерудные карьеры, технологическая схема разработки, глубина формирования отвала, внутренний отвал, максимальная глубина разработки.

ABSTRACT

Purpose. Scientific substantiation of efficient development depth for non-metallic mineral deposits, which will ensure rational use of natural resources.

The methods. To solve this goal, the following research methods were used: graph-analytical - in optimizing the maximum development depth for building material deposits; technical and economical - in the study and evaluation of the technological schemes effectiveness for mining to the efficient depth of development; mathematical modeling - for determining the maximum development depth of non-metallic deposits with internal dumping; method of options - when choosing a rational technological scheme of mining during the quarry deepening, for determining the depth of internal dump and justify the required number of its transferring to deeper horizons during deposit development.

Findings. The maximum development depth for non-metallic deposits with intra-quarry overburden placement is achieved by forming an internal dump at a depth of 50 to 115 m, which allows us to achieve the maximum depth of the quarry within the produced space for typical quarries without additional land allocation. Rational development depth of systematized deposits is established on the basis of the received correlation dependences of maximum development depth definition and is limited by the minimum admissible enterprise profitability, and makes accordingly for deposits of the big area - 220 ÷ 240 m, average area - 209 ÷ 238 m, small area - 134 ÷ 169 m.

The originality. For the first time for granite and stone quarries the dependence of their maximum working depth on the place of internal overburden dump formation, water inflow, transportation distances and pit wall angle was established, which became a determining factor of efficient development of deep nonmetallic building materials deposits with internal overburden dump placement.

Practical implication lies in the substantiation of the efficient development depth for non-metallic rock deposits with overburden dump in the developed space. Which will ensure the rational use of natural resources, as well as in the implementation of research results in development projects Lyubimovsky, Chaplinsky, Pervomaisky, Novoukrainsky granite deposits; as a result of additional mineral reserves exploration, their additional increments in the amount of 1 to 48 million m³ is possible, which will ensure 5-40 years of sustainable mining enterprise operation.

Keywords: non-metallic quarries, technological scheme, depth of dump formation, internal dump, maximum depth of development.