

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

ЧЕРНЯЄВ ОЛЕКСІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ



УДК 622.271(043.3)

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

Спеціальність 05.15.03– «Відкрита розробка родовищ корисних копалин»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі відкритих гірничих робіт Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: – доктор технічних наук, професор
Симоненко Володимир Іванович
Національний технічний університет
НТУ «Дніпровська політехніка»
Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор
Жуков Сергій Олександрович,
Криворізький національний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри відкритих гірничих робіт;

- кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Медведєва Ольга Олексіївна,
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
НАН України (м. Дніпро), старший науковий співробітник відділу геодинамічних систем та вібраційних технологій.

Захист відбудеться « 30 » квітня 2021 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.02 при Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19. корпус 1, ауд. 60.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005 м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19.

Автореферат розісланий « 26 » березня 2021 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 08.080.02,
к.т.н., доцент

О.О. Борисовська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Україна посідає одне з провідних місць у світі за запасами скельної нерудної мінеральної сировини, яка придатна для виготовлення будівельних матеріалів, у тому числі й щебеневої продукції: вапняків, доломітів, кварцитів, піщаників, гранітів, мігматитів, щільних сланців та інших копалин. Нерудні родовища зазначених корисних копалин України належать до інтрузивних й ефузивних покладів вивержених гірських порід Українського кристалічного щита, а також до відкладень твердих осадових порід. Магматичні породи мають значне поширення в глиб земної кори, утворюючи лаколіти, батоліти, штоки та інші поклади. Більшість родовищ осадових будівельних матеріалів в Україні відпрацьовуються на повну глибину (80-120 м) до підшови покладу за технологією із внутрішнім відвалоутворенням порід розкриву. Родовища магматичних гірських порід розробляються в середньому до глибини 70-100 м, іноді 140-150 м. У практиці проектування кар'єрів скельних будівельних матеріалів на родовищах магматичних гірських порід їхня гранична глибина розробки обмежується наступними параметрами й факторами: глибиною розвіданих запасів корисної копалини; збільшеними припливами підземних вод, що спричиняє різке підвищення витрат на водовідлив; забудованістю території поблизу кар'єрних полів, що обмежує їхні просторові розміри; підвищенням радіоактивності із глибиною; невеликими поперечними розмірами покладу вивержених порід.

З більш ніж 300 кар'єрів скельних порід магматичного та метаморфічного походження понад 60 % на сьогоднішній день досягли своєї проектної глибини. Можливостей розширення меж кар'єрних полів за рахунок збільшення запасів у бортах практично немає. Це пов'язане з необхідністю переносу доріг, будинків, трубопроводів, ЛЕП, а також відводом нових площ приватизованих земель. Таким чином, перспективним напрямком є розвиток гірничих робіт у глибину, приростивши запаси сировини, розташовані нижче. У той же час наукове обґрунтування раціональної глибини розробки таких родовищ, особливо при їхній розробці із внутрішнім відвалоутворенням порід розкриву не виконано. У зв'язку з цим постає важливе завдання встановлення граничної глибини розробки нерудних родовищ будівельних матеріалів. Це обумовлює **актуальність наукової задачі**, яка полягає в обґрунтуванні 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.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дисертаційна робота виконана відповідно до тематичних планів держбюджетних робіт Міністерства освіти і науки України: ГП-439 № ДР 0110U000532 «Технологічні основи еколого- й енергозберігаючого виробництва при видобутку твердої нерудної сировини в межах санітарно-захисних зон», ГП-456 № ДР 0112U000875 «Розробка технологічних, управлінських рішень, нормативної документації, системи екологічного моніторингу щодо природоохоронної діяльності гірничих підприємств», ГП-480 № ДР 0115U002301 «Розробка технологічних основ

екологобезпечного видобутку корисних копалин в техногенно-навантажених гірничопромислових регіонах України»; а також госпдоговірних робіт: № 110048 «Доповнення до робочого проекту розробки Чаплинського родовища гранітів: розкриття горизонту мінус 36 м в контурах категорії «А», № 110054 «Доповнення до робочого проекту розробки Любимівського родовища гранітів: відпрацювання прирощених запасів», № 110011 «Корегування робочого проекту розробки Софіївського родовища: проект реконструкції розробки Софіївського щєбеневого кар'єру», № 110002 «Корегування робочого проекту розробки Микитівського родовища гранітів «Гірничі роботи Олександрівського гранітного кар'єру тресту «Укрводзалізобетон» в с. Олександрівка Вознесенського району Миколаївської області», № 71302/1 «Доповнення до робочого проекту розробки Микитівського родовища гранітів: відпрацювання прирощених запасів» та інших, у яких автор був відповідальним виконавцем, керівником і головним інженером робочих проектів.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає в обґрунтуванні доцільної глибини розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин, яка забезпечить раціональне використання природних ресурсів. Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі вирішуються такі наукові завдання:

1. Огляд існуючих нерудних кар'єрів з видобутку сировини для виготовлення щєбеневої продукції. Встановлення й аналіз природних, технологічних і соціальних факторів, що впливають на глибину відпрацювання гранітних та інших нерудних кар'єрів скельних будівельних матеріалів.

2. Систематизація нерудних родовищ скельних корисних копалин, які слугують сировинною базою для видобутку будівельних матеріалів, виділення базових кар'єрів як об'єктів подальшого дослідження. Встановлення взаємозв'язків просторових розмірів кар'єрного поля з параметрами системи розробки, показниками й факторами, що впливають на граничну глибину відпрацювання нерудних скельних родовищ для виробництва щєбеневої продукції.

3. Обґрунтування критеріїв оптимізації граничної глибини розробки скельних нерудних родовищ із внутрішнім складуванням порід розкриття та удосконалення методики розрахунку максимальної глибини, яка забезпечить раціональне використання природних ресурсів.

4. Економіко-математичне й графоаналітичне моделювання для визначення раціональної глибини розробки нерудних родовищ з видобутку сировини для виробництва щєбеневої продукції. Визначення граничної раціональної глибини розробки гранітних кар'єрів графічним та аналітичним методами та їх порівняння. Обґрунтування оптимальної глибини розробки родовищ для базових типів кар'єрів.

5. Розробка рекомендацій із впровадження результатів досліджень.

Об'єкт дослідження дисертаційної роботи – технологія відпрацювання нерудних родовищ з внутрішньокар'єрним складуванням порід розкриття.

Предмет дослідження – технологічні параметри розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин під час розвитку гірничих робіт у глибину.

Методи дослідження. Для вирішення сформульованих наукових завдань використані методи: статистичний й аналітичний при обробці параметрів діючих нерудних кар'єрів з видобутку сировини для виробництва щебеневої продукції, систематизації нерудних родовищ із виділенням базових кар'єрів як основних об'єктів досліджень; графо-аналітичний – при оптимізації 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 відвалу й обґрунтування необхідної кількості його переносів на більш глибокі горизонти в процесі експлуатації родовища.

Наукові положення:

1. Максимальна глибина розробки нерудних родовищ з внутрішнім відвалоутворенням порід розкриття досягається при формуванні внутрішнього відвалу в межах виробленого простору кар'єру, параметри якого обумовлені типорозміром його площі та потужністю розкриття порід, що дозволяє оптимізувати глибину розташування внутрішнього відвалу в межах від 50 до 115 м з урахуванням параметрів кар'єрного поля й проектною глибини відпрацювання родовища без додаткового відведення земельних площ.

2. Систематизація та розподіл родовищ за групами за просторовими розмірами та потужністю порід розкриття дозволяє визначити раціональну глибину розробки певного родовища на основі кореляційних залежностей, за якою забезпечується мінімально допустима рентабельність підприємства; на основі отриманих залежностей за рівнем рентабельності 12-20 % доцільна глибина для родовищ великої площі складає 220-240 м, середньої площі – 209-238 м, малої площі – 134-169 м відповідно.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше систематизовані нерудні (магматичного й метаморфічного генезису) родовища скельних будівельних матеріалів для виробництва було-щебеневої продукції за їхніми просторовими параметрами та потужністю порід розкриття, з урахуванням внутрішньокар'єрного формування відвалів, що впливають на ефективне відпрацювання кар'єрних полів до максимальної (граничної) глибини. На основі проведеної систематизації виділені базові кар'єри як основні об'єкти подальших досліджень, і визначені головні параметри груп систематизованих кар'єрів.

2. Вперше для родовищ магматичного та метаморфічного походження, встановлено залежність граничної глибини їх розробки від глибини формування внутрішнього відвалу порід розкриття в межах виробленого простору кар'єру, що дозволяє оптимізувати глибину розташування внутрішнього відвалу з урахуванням параметрів кар'єрного поля та проектною глибини відпрацювання родовища без додаткового відведення земельних площ.

3. Вперше для гранітних і кам'яних кар'єрів встановлена залежність їхньої глибини відпрацювання від водоприпливу, відстані транспортування й кутів

укося бортів, що стало визначальним фактором доцільної розробки глибоких нерудних родовищ будівельних матеріалів, за якою забезпечується мінімально допустима рентабельність підприємства, із забезпеченням ресурсо- і землезбереження в процесі їх експлуатації.

Наукове значення роботи полягає у теоретично обґрунтованому удосконаленні методики визначення граничної глибини розробки родовищ мінеральної сировини для виробництва щебеневої продукції із забезпеченням ресурсо- і землезбереження в процесі експлуатації кар'єрів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1) розроблені технологічні схеми доробки гранітних кар'єрів із внутрішнім відвалоутворенням порід розкриву до ефективної граничної глибини відпрацювання (патент на винахід № 99570, патент на винахід № 99373);

2) удосконалена методика розрахунку граничної глибини розробки родовищ магматичного й метаморфічного походження, що відрізняється врахуванням гірничо-геологічних параметрів та урахуванням внутрішньокар'єрного складування порід розкриву у вироблений простір (патент на винахід № 99570);

3) за розробленою методикою обґрунтована раціональна глибина відпрацювання родовищ на прикладі ряду представницьких гранітних кар'єрів, що розробляють Чаплинське, Любимівське родовища Дніпропетровської обл., Болеславчикське, Микитівське, Трикратське, Софіївське родовища Миколаївської обл., Бантишевське родовище Кіровоградської обл. та ін.;

4) результати досліджень впроваджені у робочих проектах розробки Любимівського (акт впровадження № 0783/21), Микитівського (акт впровадження № 1406/2), та Софіївського (акт впровадження № 03-12/15) родовищ;

5) 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.

Особистий внесок здобувача в розробку наукових результатів, представлених на захист. Автором самостійно сформульовані проблема, мета й завдання досліджень, ідея роботи, основні наукові положення, висновки й рекомендації; розроблена методика визначення граничної глибини розробки гранітних кар'єрів із внутрішнім відвалоутворенням, виконана систематизація родовищ із визначенням базових кар'єрів, розглянуто технологічні схеми розробки прирощених запасів. За його активної участі виконано впровадження розробленої методики при проектуванні подальшої розробки Любимівського, Микитівського, Софіївського та інших родовищ з видобутку сировини для виробництва щебеневої продукції. Дисертація автором написана особисто.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й отримали схвалення на міжнародних науково-практичних конференціях: «Форум гірників – 2015» (Дніпро, 2015 р.), «Форум гірників – 2016» (Дніпро, 2016 р.), П'ята всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Молодь: наука та інновації» (Дніпро, 2017 р.), друга Міжнародна

науково-практична конференція «Надракористування в Україні. Перспективи інвестування» (Трускавець, 2015 р.), міжнародна конференція «Virtual Conference Locations» (2017): India (Vellore Institute of Technology), Ukraine (National Mining University), Spain (Universidad De Castilla-La Mancha), Italy (University of Rome Tor Vergata).

Публікації. Основні положення і результати дисертації опубліковані в 15 друкованих роботах, у тому числі: статті у виданнях, що включені до наукометричних баз – 1; статті в провідних фахових виданнях – 3; патенти на винахід – 2; доповіді на науково-технічних конференціях – 5; статті у інших виданнях – 4. Одноосібно опубліковано 6 робіт, з них у фахових виданнях – 3.

Структура і обсяг роботи: Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Об'єм основного тексту дисертації складає 136 сторінок. Дисертація містить 23 таблиці, 40 ілюстрацій до тексту, 6 додатків, список використаних джерел із 184 найменувань. Додатки включають: основні параметри нерудних родовищ скельних корисних копалин, на основі яких розроблена систематизація зазначених родовищ; акти впровадження результатів досліджень; рекомендації з розвитку ресурсозберігаючої технології розробки Любимівського родовища гранітів; перелік праць здобувача.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано зв'язок з науковими роботами, планами і темами, сформульовано мету та завдання роботи, викладено наукову новизну та практичне значення, наведено інформацію про апробацію результатів роботи та публікації.

У розділі 1 відповідно до першої задачі дослідження виконано аналіз стану й перспектив розвитку відкритої розробки нерудних родовищ будівельних матеріалів. Приведені загальні відомості про нерудні родовища скельних корисних копалин України. Проведено аналіз літературних джерел і наукових досліджень технології відкритої розробки за тематикою досліджень. На підставі виконаного аналізу сучасного стану й існуючої практики роботи гірничодобувних підприємств, науково-технічної літератури та наукових досліджень з визначення граничної та раціональної глибини розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин можна зробити висновок щодо актуальності подальшого проектування до їх раціональної глибини.

У розділі сформульовані задачі дослідження, що передбачають систематизацію нерудних родовищ скельних корисних копалин (виділення базових типів родовищ як об'єктів подальших досліджень), обґрунтування критеріїв оптимізації раціональної глибини розробки скельних нерудних родовищ із внутрішнім складуванням порід розкриву й розробку методики розрахунку максимальної глибини, математичне та графоаналітичне моделювання для визначення максимальної глибини розробки нерудних родовищ, обґрунтування раціональної глибини розробки для базових типів кар'єрів та розробку рекомендацій із впровадження результатів досліджень на діючих підприємствах України.

У розділі 2 відповідно до першої та другої задач дослідження проведено аналіз параметрів і показників, що впливають на глибину відкритої розробки нерудних родовищ будівельних матеріалів, розглянуто існуючі систематизації нерудних родовищ та розроблено систематизацію родовищ мінеральної сировини для виробництва щебеневої продукції.

Основне завдання систематизації обумовлюється необхідністю поділу родовищ на групи, з яких можна виділити базові як об'єкти подальших досліджень. Виділення базових родовищ, як об'єктів подальших досліджень, виконано за просторовими розмірами та потужністю порід розкриву.

Виділення груп родовищ за їхніми просторовими розмірами

У розроблюваній методиці оптимізації глибини відпрацювання нерудних родовищ із внутрішньокар'єрним складуванням порід розкриву визначальними показниками виступають довжина й ширина родовища. Ці параметри враховуються у визначенні граничної глибини, ї пропонується використати їх як узагальнюючу ознаку при поділі нерудних родовищ на групи. Аналізуючи параметри 117 родовищ, пропонується виділити 3 основні групи родовищ за просторовими розмірами, де як показник розподілу слугує площа родовища.

Таблиця 1 – Виділення груп родовищ за їхніми просторовими розмірами

Група	Площа S , га		Кіл-ть n	Розміри кар'єрного поля, м		
				довжина L_k , м	ширина B_k , м	площа S , м
I	Малої площі	до 20	46	290 ÷ 610	220 ÷ 390	6,1 ÷ 19,7
II	Середньої площі	20 ÷ 60	55	480 ÷ 1200	320 ÷ 760	20,2 ÷ 59,3
III	Великої площі	більше 60	16	860 ÷ 1650	600 ÷ 1000	66,6 ÷ 141

Виділення груп родовищ за потужністю порід розкриву

Одним з найважливіших факторів, що впливають на реалізацію ресурсозберігаючої технології розробки вищезгаданих родовищ при внутрішньокар'єрному складуванні розкривних порід є потужність розкриву. Аналізуючи параметри потужності розкривних порід на 117 представлених родовищах, очевидно, що даний параметр коливається від 4 до 45 м. У даному напрямку також пропонується виділити 3 основних типи, які будуть розрізнятися за загальною потужністю порід розкриву.

Таблиця 2 – Виділення груп родовищ за потужністю порід розкриву

№ з.п.	Найменування	Потужність розкривних порід h_p , м	Число родовищ n	Потужність розкривних порід h_p , м
I тип	Малої потужності	до 10	58	4 ÷ 10
II тип	Середньої потужності	10 ÷ 20	39	11 ÷ 20
III тип	Великої потужності	більше 20	20	20 ÷ 45

Аналізуючи вищезазначене, загальна систематизація нерудних родовищ скельних корисних копалин для виробництва щебеневої продукції матиме наступний вигляд:



Рисунок 1 – Систематизація нерудних родовищ

Вважаючи, що в кожній групі родовище відпрацьовується одним базовим кар'єром, у результаті цього виділяється 9 типів базових кар'єрів, усереднені параметри яких (площа кар'єрного поля – S , довжина – L_k , ширина – B_k , потужність корисної копалини – H_{kk} , потужність розкривних порід – hp), наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Усереднені параметри базових нерудних родовищ

Група за площею	Тип за потужністю розкривних порід	Потужність, м		Розміри кар'єрного поля, м		
		корисної копалини, H_{kk} , м	розкривних порід, hp , м	довжина, L_k , м	ширина, B_k , м	площа, S , га
Великої площі	Малої потужності	67,3	7,6	1198	774	92,7
	Середньої потужності	71	15,6	1263	690	86,8
	Великої потужності	73,3	35	1197	770	93,2
Середньої площі	Малої потужності	62,3	7,4	615	493	30,8
	Середньої потужності	60,5	14,8	711	446	31,5
	Великої потужності	74,4	25,4	700	471	33,4
Малої площі	Малої потужності	48,9	8,3	426	311	13,42
	Середньої потужності	48,6	14,1	465	313	14,6
	Великої потужності	49,5	23,8	509	300	15,3

Подальші дослідження, виконані на основі розробленої систематизації з виділенням базових родовищ, продемонстрували велику збіжність отриманих теоретичних даних з практичними, що є важливим при впровадженні ресурсозберігаючих технологій на діючих та перспективних гірничодобувних підприємствах будівельних матеріалів.

У розділі 3 відповідно до третьої задачі дослідження удосконалена методика визначення раціональної економічно-доцільної глибини розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин.

Виходячи з поставлених завдань з дослідження раціональних схем відпрацювання нерудних родовищ будматеріалів, запропоновано раціональні схеми з видобутку прирощених запасів (схеми в, г), які забезпечують доцільність та ефективність розробки родовищ та забезпечення раціонального природокористування. Схеми передбачають: відпрацювання родовищ до проектної позначки з подальшим формуванням внутрішнього відвалу на дні (схема а); відпрацювання родовищ з формуванням внутрішнього відвалу на рівні вище проектної глибини з наступним переносом його на проектну глибину (схема б); доробка родовища до максимально можливої глибини з формуванням внутрішнього відвалу на проектній позначці, без наступного переносу (схема в); доробка родовища до максимально можливої глибини з перенесенням внутрішнього відвалу на нижні горизонти і подальшою доробкою раніше законсервованих запасів (схема г).

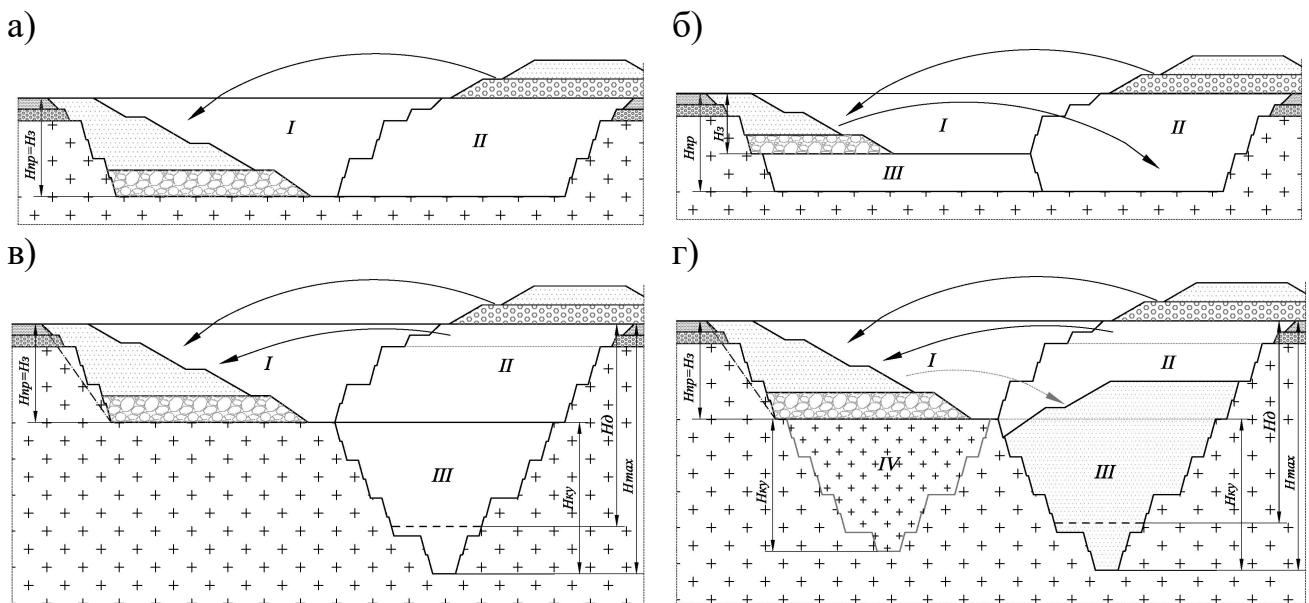


Рисунок 2 – Схеми розробки нерудних родовищ скельних будматеріалів при внутрішньокар'єрному складуванні порід розкриття

Розроблена методика розрахунку максимальної глибини розробки і економіко-математична модель визначення раціональної глибини розробки родовищ, що досліджуються, яка відрізняється врахуванням мінімально допустимої рентабельності розробки родовища на максимально доцільну глибину, при доробці прирощених запасів корисної копалини та з урахуванням формування внутрішнього відвалу розкривних порід і місця його розташування.

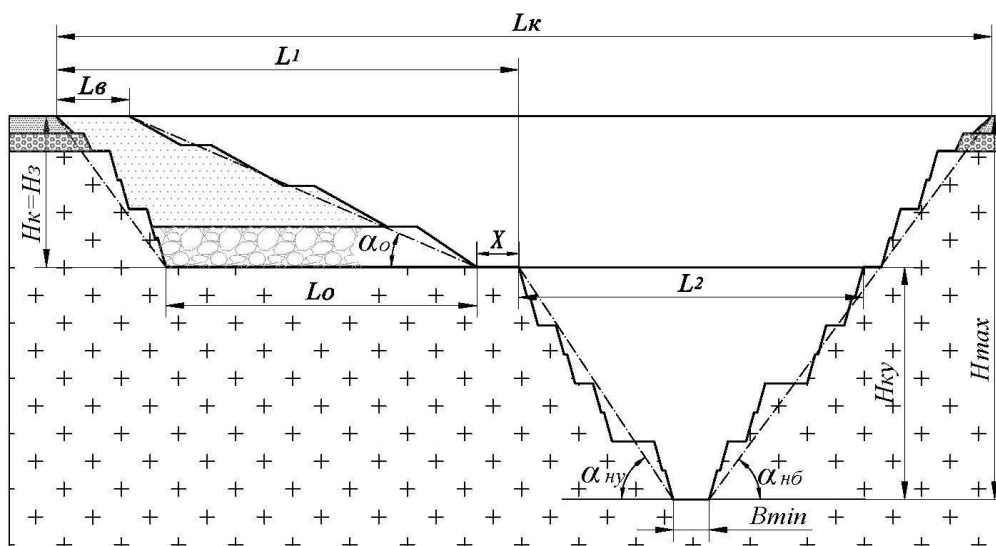


Рисунок 3 – Схема до визначення параметрів відпрацювання кар'єру до граничної глибини за його довжиною

Визначення граничної глибини кар'єру для схеми в:

$$H_{MAX} = H_3 + \frac{\left[L_k - \left(\frac{V_o}{B_o \times H_o} + \frac{H_o}{2} \times (ctg\alpha_{B.p} - ctg\alpha_H) + X + 2 \times H_3 \times ctg\alpha_H \right) \right] - B_{MIN}}{2 \times ctg\alpha_p}, \text{ м}; \quad (1)$$

де: H_3 – глибина закладення (формування) відвалу, м; L_k – довжина кар'єру, м; V_o – об'єм відвалу, м³; B_o – ширина відвалу, м; H_o – висота відвалу, м; $ctg\alpha_{B.p}$ – результуючий кут укосу відвалу, град; α_H – неробочий кут укосу борта, град; X – площадка безпеки від відвалу до верхньої брівки наступного уступу (поглиблюваної частини прирощених запасів), м; α_p – результуючий кут укосу борта, град; B_{MIN} – мінімальна ширина дна кар'єру, м.

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

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

На підставі удосконаленої методики визначення максимальної глибини відпрацювання нерудних родовищ, з внутрішньокар'єрним складуванням порід розкриття, та розробленої економіко-математичної моделі визначення раціональної глибини розробки, за якою забезпечується мінімально допустима рентабельність підприємства, отримано залежність глибини розробки від собівартості готової продукції:

$$H_K = f(C_C); \quad (3)$$

$$H_K = \left[\frac{C_C \times Q_{KK} - (3_H + 3_{B.OTL} + 3_{TP.P})}{Q_{KK} \cdot \gamma_{KK} \cdot C_{T.KM}} - 2 \times \left(\frac{L_\Phi}{2} + L_{T.K.} + L_{ПОВ} \right) \right] \times \frac{i}{2 \times K_{y.T}}, \text{ м}; \quad (4)$$

де Q_{KK} – річна продуктивність по корисній копалині, м³/рік; C_C – припустима собівартість видобутку корисної копалини, грн/м³; Z_H – незмінні (сталі) витрати, грн; $Z_{B.OTL}$ – витрати на водовідлив, грн; $Z_{TP.B}$ – витрати на транспортування порід розкриття, грн; γ_{III} – щільність корисної копалини, т/м³; $C_{T.KM}$ – витрати на один т-км транспортування корисної копалини, грн/км; L_ϕ – довжина фронту видобувних робіт, км; $L_{ПОВ}$ – відстань переміщення гірничої маси по поверхні, км; i – ухил з'їздів, ‰; $K_{V.T}$ – коефіцієнт подовження траси.

У розділі 4 відповідно до четвертої та п'ятої задач дослідження досліджено параметри відпрацювання нерудних родовищ скельних корисних копалин до раціональної глибини та обґрунтовано основні ефективні технологічні рішення зі складування порід розкриття у внутрішній відвал, в результаті чого отримані залежності наведені на рис. 4:

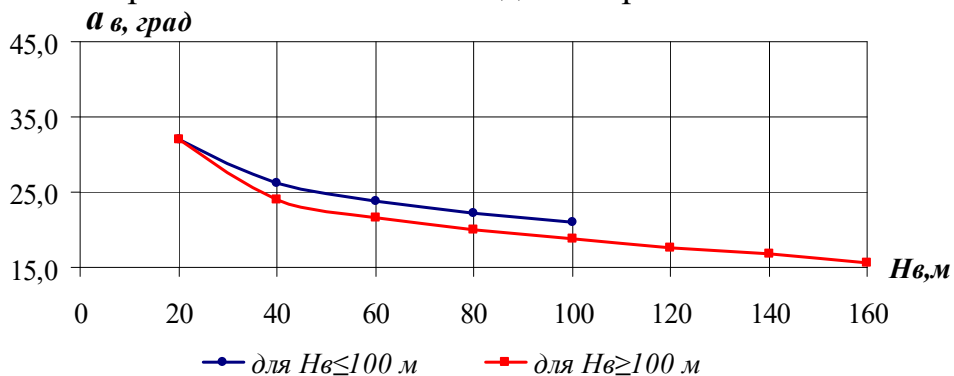


Рисунок 4 – Графік залежності результуючого кута укосу відвалу (α_v) від його висоти (H_v)

Зазначена залежність апроксимована у вигляді аналітичних виразів:

– для відвалу висотою до 100 м:

$$\alpha_v = -3 \times 10^{-5} H_v^3 + 0,0079 H_v^2 - 0,6646 H_v + 42,398 \quad (5)$$

– для відвалу висотою понад 100 м:

$$\alpha_v = -1 \times 10^{-5} H_v^3 + 0,005 H_v^2 - 0,5728 H_v + 41,101 \quad (6)$$

На основі фізико-механічних властивостей порід розкриття, на родовищах Придніпров'я, розраховані показники стійкості відвалу (рис. 5).

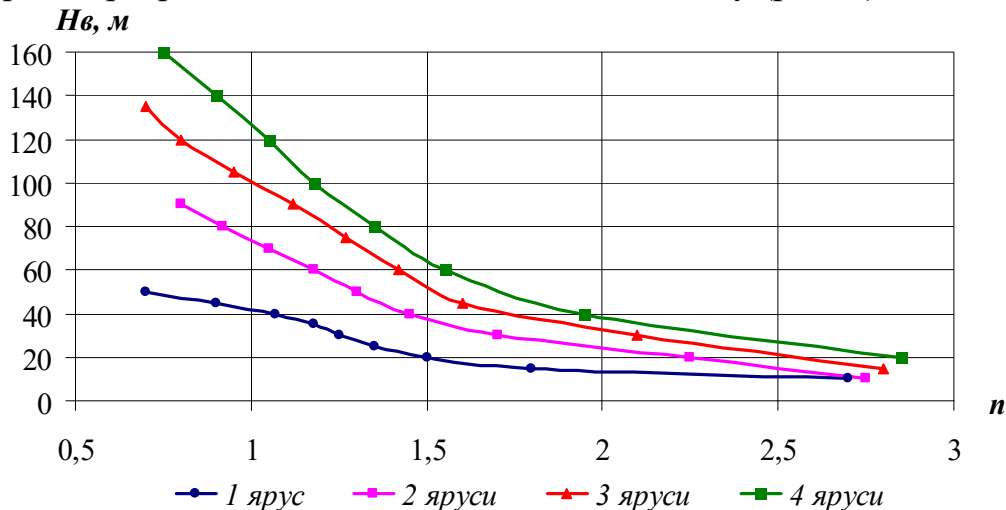


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнту стійкості (n) від висоти відвалу (H_v)

Дослідження закономірностей зміни максимальної глибини відпрацювання родовищ від глибини формування внутрішнього відвалу показали, що оптимальна глибина формування внутрішнього відвалу, яка забезпечує максимальну глибину розробки становить: на родовищах великої площі з великою потужністю порід розкриття – 70-115 м; середньої площі – 50-90 м; малої площі – 50-85 м. На кар'єрах великої площі з малою та середньою потужністю порід розкриття H_{MAX}^K не залежить від глибини формування внутрішнього відвалу. При цьому, безпечне відвалоутворення забезпечується при висоті ярусів до 35 м з загальною висотою відвалів до 100 м. Стійкість як відвальних ярусів, так і в цілому борту відвалу задовольняє умовам, в яких коефіцієнт запасу стійкості укосів $n \geq 1,2$.

Дослідження закономірностей зміни максимальної глибини розробки базових родовищ від головних параметрів кар'єрного поля виконано шляхом статистичної обробки за систематизованими типами родовищ з використанням розробленої методики. Обробка основних параметрів родовищ 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), для типових родовищ:

1. для родовищ великої площі:

– з малою потужністю розкривних порід:

$$H_{MAX}^K = 17,04 - 0,98h_B + 0,02L_K + 0,43B_K - 0,12H_3; \quad (7)$$

– з середньою потужністю розкривних порід:

$$H_{MAX}^K = 13,85 - 1,88h_B + 0,01L_K + 0,46B_K + 0,33H_3; \quad (8)$$

– з великою потужністю розкривних порід:

для схеми в:

$$H_{MAX}^K = 250,07 + 0,72h_B + 0,19L_K + 0,45B_K - 0,38H_3; \quad (9)$$

для схеми г:

$$H_{MAX}^K = -4865,48 + 100,0695h_B - 2,335L_K + 7,737B_K - 16,33H_3. \quad (10)$$

2. для родовищ середньої площі:

– з малою потужністю розкривних порід:

по довжині кар'єрного поля

$$H_{MAX}^K = 10,2 - 5,46h_B + 0,41L_K + 0,01B_K + 0,32H_3; \quad (11)$$

по ширині кар'єрного поля

$$H_{MAX}^K = 7,97 + 0,01h_B - 0,01L_K + 0,49B_K + 0,12H_3; \quad (12)$$

– з середньою потужністю розкривних порід:

по довжині кар'єрного поля

$$H_{MAX}^K = 31,96 - 5,35h_B + 0,35L_K - 0,02B_K + 0,72H_3; \quad (13)$$

по ширині кар'єрного поля

$$H_{MAX}^K = 71,82 - 0,71h_B - 0,004L_K + 0,39B_K - 0,11H_3; \quad (14)$$

– з великою потужністю розкривних порід:

по довжині кар'єрного поля

для схеми *в*

$$H_{MAX}^K = 48,40 - 2,78h_B + 0,30L_K + 0,12B_K - 0,51H_3; \quad (15)$$

для схеми *г*

$$H_{MAX}^K = -164,558 + 8,196h_B + 0,533L_K - 0,384B_K + 0,63H_3; \quad (16)$$

по ширині кар'єрного поля

$$H_{MAX}^K = 543,74 - 3,0h_B - 1,07L_K + 1,41B_K + 11,67H_3. \quad (17)$$

3. для родовищ малої площі:

– з малою потужністю розкривних порід:

по довжині кар'єрного поля:

$$H_{MAX}^K = 23,37 - 4,74h_B + 0,37L_K + 0,07B_K - 0,005H_3; \quad (18)$$

по ширині кар'єрного поля:

$$H_{MAX}^K = -4,006 + 0,589h_B + 0,003L_K + 0,502B_K + 0,015H_3; \quad (19)$$

– з середньою потужністю розкривних порід:

по довжині кар'єрного поля:

$$H_{MAX}^K = 53,45 - 4,86h_B + 0,34L_K - 0,03B_K + 0,25H_3; \quad (20)$$

по ширині кар'єрного поля:

$$H_{MAX}^K = -22,258 + 0,09h_B - 0,013L_K + 0,537B_K + 0,285H_3; \quad (21)$$

– з великою потужністю розкривних порід:

для схеми *в*

$$H_{MAX}^K = -1,14 - 3,54h_B + 0,58L_K - 0,27B_K - 0,003H_3; \quad (22)$$

для схеми *г*

$$H_{MAX}^K = 31,14 + 0,697h_B + 0,082L_K + 0,528B_K - 0,491H_3. \quad (23)$$

На основі отриманих залежностей між максимальною глибиною розробки (H_{MAX}^K) та головними параметрами кар'єрних полів (довжиною і шириною кар'єрних полів, 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.

Ураховуючи те, що мінімально допустима рентабельність підприємства повинна бути не менше банківської ставки по депозиту, то мінімально допустима «повна собівартість» готової продукції буде складати – 290÷340 грн/м³. Зважаючи на дані показники, отримано залежності зміни економічно-доцільної глибини розробки типових родовищ, на основі чого було обґрунтовано економічно-доцільну глибину розробки типових родовищ (табл. 4, 5):

Таблиця 4 – Економічно-доцільна глибина розробки за схемою в

Група родовищ за просторовими розмірами	Тип родовищ за потужністю порід розкриву	Глибина кар'єру, м		Собівартість С, грн/м ³
		максимальна	економічно доцільна	
Великої площі	Малої потужності	388	220 ÷ 240	290 ÷ 300
	Середньої потужності	355	220 ÷ 240	290 ÷ 300
	Великої потужності	327	220 ÷ 240	290 ÷ 300
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

Таблиця 5 – Економічно-доцільна глибина розробки за схемою г

Група родовищ за просторовими розмірами	Тип родовищ за потужністю порід розкриву	Глибина кар'єру, м		Собівартість С, грн/м ³
		максимальна	економічно доцільна	
Великої площі	Великої потужності	385	200	290
Середньої площі		258	230	290
Малої площі		169	169	265

Для впровадження викладених результатів, відповідно до п'ятої задачі досліджень, розроблені рекомендації основних положень, узагальнена сутність цих рекомендацій наводиться на прикладі Любимівського родовища гранітів, який є досить типовим представником нерудних кар'єрів Придніпров'я.

Після відпрацювання затверджених запасів Любимівського родовища гранітів та укладанні внутрішнього відвалу, залишається значна площа дна кар'єра, яка становить 78930 м². В результаті дорозвідки і постановки даних обсягів запасів на баланс, можливе їх подальше відпрацювання. Слід відмітити, що лише за рахунок зменшення середньої відстані доставки порід розкриву при формуванні внутрішнього відвалу шляхом перепуску порід з південно-східного борту економічний ефект складе понад 14 млн. грн.

Аналізуючи отримані результати з обґрунтування глибини розробки Любимівського родовища з використанням графоаналітичного (рис. 6, 7) та аналітичного методів, можна зробити висновок, що визначальним параметром у досягненні максимальної глибини розробки в даному випадку є ширина кар'єрного поля, внаслідок чого максимальна глибина складе – 160÷172 м. Розглянувши отримані результати бачимо, що похибка за різними методами вирішення поставленого завдання, а саме: розробленої методики, отриманими кореляційними залежностями та графічним методом становить 2÷7 % – ця похибка незначна, враховуючи просторову складність форми кар'єрного поля.

Відпрацювання родовища до зазначеної економічно-доцільної глибини забезпечить прирощення додаткових запасів корисної копалини в об'ємі 2,8 млн.м³, та збільшить термін функціонування кар'єру більш ніж на 18 років.

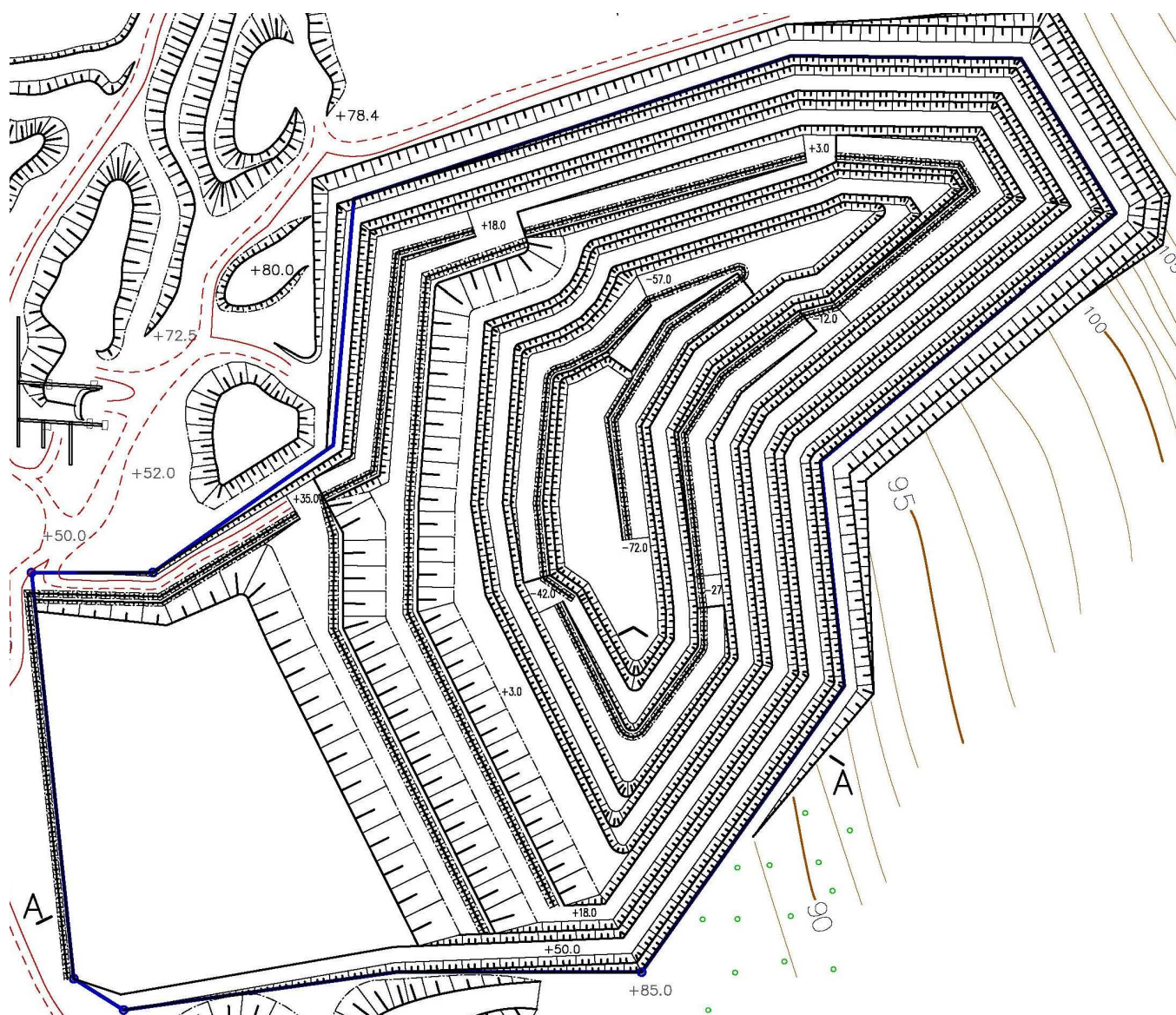


Рисунок 6 – Встановлення максимальної глибини розробки за графічним методом

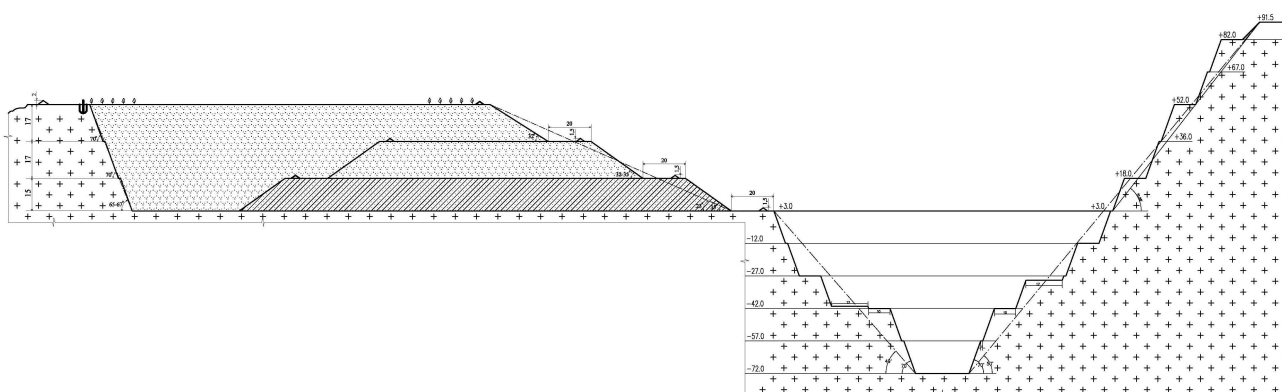


Рисунок 7 – Розріз А-А (рис. 7)

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна наукова задача з обґрунтування раціональної глибини розробки нерудних родовищ з внутрішнім відвалоутворенням без додаткового розносу

бортів за межі існуючого гірничого відводу, що дозволяє підвищити ефективність відкритої розробки за рахунок заощадження земель під гірничі роботи. Наукове значення роботи полягає в удосконаленні методики розрахунку граничної глибини розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин для виробництва щебеневої продукції із забезпеченням ресурсо- і землезбереження в процесі їх експлуатації.

Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи:

1. На основі аналізу сучасного стану гірничодобувних підприємств, науково-технічної і проектної документації встановлено, що для родовищ метаморфічного та магматичного походження не вирішена задача обґрунтування раціональної глибини їх відпрацювання, оскільки вони розробляються тільки до проектної глибини – 70-100 м, і рідко – 140-150 м.

2. Систематизовано 117 родовищ скельних нерудних корисних копалин, в якості основних об'єктів дослідження, з урахуванням кваліфікаційних критеріїв, в результаті чого було виділено три групи родовищ за площею (великої, середньої та малої) і три за потужністю порід розкриву (великої, середньої та малої). Розроблена систематизація типових родовищ дозволила дослідити розвиток ресурсозберігаючої технології їх розробки на максимальну економічно-доцільну глибину з внутрішнім відвалоутворенням.

3. Розроблена методика і економіко-математична модель визначення раціональної глибини розробки родовищ, з урахуванням оптимальної технологічної схеми їх розробки, яка відрізняється врахуванням мінімально допустимої рентабельності розробки, при доробці прирощених запасів.

4. 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 розкриву $H_3=70-115$ м; середньої площі – $H_3=50-90$ м; 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.

5. На основі отриманих залежностей 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 доробки прирощених запасів.

6. За розробленою методикою обґрунтовано економічно-доцільну глибину розробки типових родовищ, яка становить: для родовища великої площі – 220-240 м; середньої площі з малою, середньою і великою потужністю розкривних порід – 225÷238, 209, 217 (230) м відповідно; малої площі з малою, середньою і великою потужністю розкривних порід – 158, 155 і 134 (169) м відповідно.

7. Проведена апробація результатів досліджень виконана для умов розробки Любимівського родовища гранітів, яке за класифікаційними ознаками відноситься до родовищ середньої площі з середньою потужністю порід розкриву. Встановлено, що максимальна глибина кар'єру становитиме

160÷172 м. Похибка отриманих результатів за різними методами не перевищує 7% відносно даних отриманих кореляційних залежностей, при цьому відпрацювання родовища до зазначеної економічно-доцільної глибини забезпечить прирощення додаткових запасів корисної копалини в об'ємі – 2,8 млн. м³ та збільшить термін функціонування кар'єру більш ніж на 18 років.

Результати досліджень стали основою для розробки методики та рекомендацій, які впроваджені в науково-технічній документації для умов розробки Софіївського, Микитівського, Болеславчикського, Чаплинського, Любимівського та інших родовищ скельних нерудних корисних копалин.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Cherniaiev O.V. Systematization of the hard rock non-metallic mineral deposits for improvement of their mining technologies // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* – 2017. – № 5. – Р. 11-17.

2. Черняєв О.В. Технологічні аспекти формування стійких приконтурних та внутрішніх відвалів при розробці нерудних родовищ // *Збірник наукових праць НГУ.* – 2017. – № 51. – С. 84-93.

3. Симоненко В.І. Технологічні аспекти еколого- та ресурсозберігаючих технологій відпрацювання прирощених запасів при ліквідації нерудних кар'єрів / В.І. Симоненко, О.В. Черняєв, Л.С. Гриценко // *Збірник наукових праць НГУ.* – 2017. – № 50. – С. 92-100.

4. Черняєв О.В. Обґрунтування раціональної глибини розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин з внутрішнім відвалоутворенням // *Збірник наукових праць НГУ.* – 2020. – № 61. – С. 51-65.

5. Патент на винахід UA 93570, МПК E21C 41/26 (2006.1). Спосіб відкритої розробки нерудних скельних корисних копалин. / А.Ю. Дриженко, В.І. Симоненко, О.В. Черняєв, А.В. Мостика, Л.С. Гриценко. № а 2009 02735; опубл. 25.02.2011. Бюл. № 4. 9 с.

6. Патент на винахід UA 93373, МПК E21C 41/26 (2006.1). Спосіб відкритої розробки нерудних скельних корисних копалин. / В.І. Симоненко, О.В. Черняєв, А.В. Мостика, Л.С. Гриценко. № а 2010 15328.; опубл. 10.08.2012. Бюл. № 15. 12 с.

7. Черняєв О.В. Систематизация нерудных месторождений скальных полезных ископаемых по добычи сырья для производства щебеночной продукции // *Форум Гірників – 2015: матеріали міжнар. конф.* – 2015. – Т. 1. – С. 219-225.

8. Симоненко В.І. Технологія відпрацювання законсервованих та прирощених запасів корисної копалини при ліквідації нерудних кар'єрів / В.І. Симоненко, О.В. Черняєв, Л.С. Гриценко // *Форум Гірників – 2016: матеріали міжнар. конф.* – 2016. – Т. 2. – С. 58-64.

9. Черняєв О.В. Дослідження техніко-економічних показників транспортування гірничої маси при розробці гранітних кар'єрів / О.В. Черняєв, В.О. Бондаренко // *Матеріали V Всеукраїнської Науково-Технічної Конференції*

Студентів, Аспірантів і Молодих Вчених «Молодь: Наука Та Інновації». – 2017. – С. 10-11.

10. Симоненко В.І. Ресурсо- та екологіозберігаючі технології розробки родовищ скельних будівельних порід / В.І. Симоненко, А.В. Павличенко О.В. Черняєв, Л.С. Гриценко // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Надракористування в Україні. Перспективи інвестування». – 2015. – С. 317-321.

11. Simonenko V. Development of ecologically safe mining technologies, taking into account the requirements for the liquidation and conservation of mining enterprises / V. Simonenko, O. Cherniaiev // Virtual Conference Locations. India (Vellore Institute of Technology), Ukraine (National Mining University), Spain (Universidad De Castilla-La Mancha), Italy (University of Rome Tor Vergata). – 2017.

12. Симоненко В.І. К установлению зависимостей между параметрами системы разработки при отработке нерудных месторождений с внутренним отвалообразованием / В.І. Симоненко, О.В. Черняєв // Геотехнічна механіка. – 2006. – № 62. – С. 93-97.

13. Черняєв А.В. Эффективность доработки нерудных месторождений нерудных строительных материалов в глубину ниже границы подсчета запасов // Геотехническая механика. – 2006. – № 65. – С. 172-178.

14. Черняєв О.В. До вибору критеріїв для встановлення раціональної глибини розробки гранітних родовищ із внутрішнім відвалоутворенням // Геотехнічна механіка. – 2008. – № 77. – С. 219-226.

15. Симоненко В.І. Технологічні аспекти екологіозберігаючої доробки нерудних кар'єрів при їх ліквідації та консервації / В.І. Симоненко, А.В. Павличенко, О.В. Черняєв, Л.С. Гриценко // Вісник національного університету водного господарства та природокористування: зб.наук.праць. – 2016. – № 2. – С. 148-158.

Основні положення й результати дисертаційної роботи автором отримані самостійно. Особистий внесок дисертанта в роботах, опублікованих в співавторстві полягає в розгляді перспективи, ефективності та обґрунтуванні еколого- та ресурсозберігаючих технологій відпрацювання прирощених запасів: [3, 5, 6, 8, 10, 11, 15] – розглянуто технологічні аспекти еколого- та ресурсозберігаючої технології відкритої розробки родовищ нерудних корисних копалин, а також організації ведення гірничих робіт при відпрацюванні прирощених запасів з урахуванням внутрішньокар'єрного складування порід розкриву; [9] – проаналізовано техніко-економічні показники транспортування гірничої маси при розробці родовищ нерудних корисних копалин по типовим кар'єрам [1, 7]; [11] – розглянуто результати впровадження ресурсозберігаючої технології розробки родовищ нерудних корисних копалин; [12] – на прикладі Любимівського і Чаплинського родовищ гранітів встановлена залежність їхньої граничної глибини відпрацювання від параметрами системи розробки з урахуванням внутрішньокар'єрного складування порід розкриву.

АНОТАЦІЯ

Черняев О.В. Обґрунтування глибини розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин з внутрішнім відвалоутворенням. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.03 «Відкрита розробка родовищ корисних копалин» (184 – Виробництво та технології). Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України, Дніпро, 2021.

Дисертація присвячена актуальній науково-практичній проблемі обґрунтування доцільної глибини розробки нерудних родовищ скельних корисних копалин. В результаті досліджень розроблена систематизація нерудних родовищ скельних корисних копалин, удосконалена методика розрахунку граничної глибини розробки родовищ магматичного й метаморфічного походження, що відрізняється врахуванням внутрішньокар'єрного складування порід розкриву у вироблений простір, в результаті чого встановлена залежність граничної глибини відпрацювання від місця формування внутрішнього відвала розкривних порід, водоприпливу, відстані транспортування й кутів укусу бортів, що стало визначальним фактором доцільної розробки глибоких нерудних родовищ будівельних матеріалів із внутрішнім відвалоутворенням.

Ключові слова: нерудні родовища, технологічна схема розробки, глибина формування відвалу, внутрішній відвал, максимальна глибина розробки.

АННОТАЦИЯ

Черняев А.В. Обоснование глубины разработки нерудных месторождений скальных полезных ископаемых с внутренним отвалообразованием. - Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.03 - «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых» (184 - Производство и технологии). Национальный технический университет «Днепропетровская политехника» МОН Украины, Днепр, 2021.

Диссертация посвящена актуальной научно-практической проблеме обоснования целесообразной глубины разработки нерудных месторождений скальных полезных ископаемых. В результате исследований разработана систематизация нерудных месторождений скальных полезных ископаемых, усовершенствованная методика расчета предельной глубины разработки месторождений магматического и метаморфического происхождения, отличающийся учетом внутрикарьерного складирования пород вскрыши в выработанное пространство, в результате чего установлена зависимость предельной глубины отработки от места формирования внутреннего отвала вскрышных пород.

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

ABSTRACT

Cherniaiev O.V. Substantiating the depth of mining the non-metallic hard-rock fields with internal dumping. – Qualifying scientific work as a manuscript.

The thesis on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences in the specialty 05.15.03 – “Surface Mining” (184 – Production and Technology). Dnipro University of Technology, Dnipro, 2021.

The paper provides an overview of existing non-metallic quarries extracting raw materials for the production of crushed stone products, as well as an analysis of natural, technological and social factors influencing the depth of mining the granite and other non-metallic hard-rock building materials. The criteria for optimizing the maximum depth of mining the non-metallic fields of hard-rock minerals with internal dumping of overburden rocks have been substantiated. The methodology for calculating the maximum depth has been improved, which is distinguished by taking into account mining-and-geological parameters that most of all influence on the efficiency of mining operations and the value of economic indicators while ensuring the maximum economic effect with the achievement of a rational depth of mining the deposit.

The parameters of 117 non-metallic fields of magmatic and metamorphic origin have been analyzed with the purpose of their systematization. When developing the systematization, the area of fields and the thickness of the overburden rocks are accepted as the main classification criteria. Taking this into account, three main groups of quarries are identified by the area of fields: large, medium and small area. When analyzing the indicators of the overburden rock thickness, three main types are identified, which differ in the average thickness of the overburden rocks: low, medium and high thickness. The use of the proposed basic quarries of granite and stone raw materials made it possible to conduct research with a high degree of correlation between theoretical and practical results. This is important when using resource-saving technologies at existing mining enterprises producing building materials.

An economic and mathematical model has been developed to substantiate the maximum depth of mining the non-metallic quarries, which is distinguished by taking into account the mining-and-geological parameters of the quarry field (spatial dimensions, thickness of overburden rocks) and economic indicators (the minimum permissible profitability of production).

The rational schemes for mining these fields of building materials have been studied. One of them provides for additional mining of the field to the maximum possible depth with the formation of an internal dump at the design level. Another scheme provides for additional mining of the field to the maximum possible depth with the internal dump transferred to the lower horizons and subsequent completion of previously abandoned reserves. It has been revealed that a rational technology for mining the hard-rock non-metallic fields is a technology with a stage-by-stage mining of a quarry field and stockpiling of overburden rocks in a marginal dump, followed by the formation of an internal dump.

The maximum depth of mining the non-metallic fields of hard-rock minerals with intra-quarry dumping of overburden rocks depends on the depth of the internal dump formation within the mined-out space of the quarry and varies according to the determined hyperbolic laws in typical quarries. It has been found that the optimal

depth of the internal dump formation, which provides the maximum depth of mining, is: $H_3=70-115$ m in the fields of a large area with high thickness of overburden rocks; $H_3=50-90$ m in the fields of a medium area; $H_3=50-85$ m in the fields of a small area. In the quarries of a large area with low and medium thickness of overburden rocks, H_{\max}^k does not depend on the depth of the internal dump formation. The results obtained make it possible to optimize the depth of the internal dump location in the range from 50 to 115 m, taking into account the parameters of the quarry field and the design depth of mining the field without additional land allotment. It is expedient to take the design depth of the quarry as a depth of the internal dump formation.

Based on the obtained correlation dependences between the maximum mining depth and the main parameters of the quarry fields (length and width of quarry fields, thickness of overburden rocks and the depth of an internal dump formation), the maximum depth for the distinguished typical quarries, in accordance with the low, medium and high thickness of overburden rocks, is as follows: in the quarries of a large area it is – 388, 355, 327 (385) m; of a medium area – 238, 209, 217 (258) m; of a small area – 158, 155, 134 (169) m. The depth value given in parentheses corresponds to the conditions for the internal dump formation with its repeated transfer to the mined-out space after completed mining of added reserves at the *III-th* stage of mining.

Given the fact that the minimum permissible profitability of the enterprise should be at least the bank rate on the deposit, the minimum permissible total cost of the finished products of granite and stone quarries has been estimated within the range of 290-340 UAH/m³. Based on this, according to the developed methodology, the economically feasible depth of mining the typical fields has been substantiated, according to which the minimum permissible profitability of the enterprise is ensured. Based on the obtained dependences for the profitability level of 12-20%, the expedient depth of mining the typical fields is: 220-240 m for the fields of a large area; 225-238 m, 209, 217 (230) m for the fields of a medium area with low, medium and high thickness of overburden rocks, respectively; 158, 155 and 134 (169) m for the fields of a small area with low, medium and high thickness of overburden rocks, respectively. The depth value given in parentheses corresponds to the conditions for the internal dump formation with its repeated transfer to the mined-out space.

The research results are used as a basis for the development of design solutions, which have been tested and implemented in scientific and technical (design) documentation for the conditions of Sofiyivsky, Mykytivsky, Boleslavchytsky, Chaplynsky, Lyubimovsky and other fields of hard-rock non-metallic minerals. The implementation of the results consists in substantiation of the expedient depth of mining the non-metallic fields during the development of added mineral reserves, taking into account the internal dump formation. As a result of additional exploration of mineral reserves, their additional extension is possible in the amount of 1 to 48 million m³, which will ensure the stable operation of the mining enterprise from 5 to 40 years.

Keywords: non-metallic fields, technological scheme of mining, the depth of the dump formation, internal dump, maximum depth of mining.

ЧЕРНЯЄВ Олексій Валерійович

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

(Автореферат)

Підписано до друку 26.02.21. Формат 30x42/4.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим. Зам. №

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19