

© Р.М. Ігнатюк¹, Ю.О. Подчашинський¹, Р.Р. Меринов¹

¹Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, Україна

ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА РЕСУРСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЛАШТУВАННЯ ПЕРВИННОГО ВРУБУ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ЗАДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ

© R. Ihnatiuk¹, Yu. Podchashynskyi¹, R. Merynov¹

State University «Zhytomyr Polytechnic», Zhytomyr, Ukraine

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY AND RESOURCE EFFICIENCY IN PRIMARY CUTTING OF NATURAL STONE FOR WASTE MINIMIZATION

Мета. Метою дослідження є вдосконалення технології первинного врубу при видобутку блоків природного каменю, зокрема лабрадориту, шляхом оптимізації розташування свердловин та впровадження алмазно-канатного різання з відмовою від ГТХ.

Методика. Дослідження здійснювалось на базі Катеринівського родовища лабрадоритів, що характеризується сприятливими гірничо-геологічними умовами. Проаналізовано дві альтернативні технологічні схеми первинного врубу: одна з використанням ГТХ «Літокол», інша – із застосуванням виключно алмазно-канатного різання та механічного відколювання клинами. Методика включала хронометраж технологічних операцій, облік втрат сировини при бурінні та різанні, визначення виходу товарної продукції, а також техніко-економічне порівняння обох підходів.

Результати. Встановлено, що схема з ГТХ демонструє менші втрати при бурінні та різанні, а також меншу тривалість циклу (до 45% економії часу), однак формує вищу частку некондиційних блоків через мікротріщини та нерегулярність потиличного відділення. Альтернативна схема з відмовою від ГТХ дозволила досягти значного збільшення виходу товарної продукції (до 74,1% проти 45,77%), покращення форми блоків та підвищення їхньої комерційної цінності, незважаючи на збільшення часу виконання та втрат на пропили.

Наукова новизна. Вперше у вітчизняній практиці видобутку природного каменю детально проаналізовано ефективність первинного врубу за двома альтернативними технологічними схемами з урахуванням специфіки формування монолітів з двома вільними площинами. Обґрунтовано переваги застосування комбінації алмазно-канатного різання та клинового методу над традиційними вибуховими способами з позицій збереження цілісності породи та економічної доцільності.

Практична значимість. Отримані результати можуть бути безпосередньо впроваджені на підприємствах з видобутку блочного каменю. Запропонована схема підвищує рентабельність виробництва, дозволяє адаптувати технологію до умов конкретного родовища та знижує техногенне навантаження на навколишнє середовище за рахунок мінімізації застосування хімічних реагентів. Рекомендовано до впровадження на об'єктах із підвищеними вимогами до якості та геометрії блоків.

Ключові слова: природний камінь, видобуток блочного каменю, первинний вруб, лабрадорит.

Вступ. Видобуток блочного каменю залишається однією з найважливіших ланок мінерально-сировинного комплексу, оскільки саме від ефективності первинного врубу залежить геометрія майбутніх блоків, рівень втрат та економічна

рентабельність усього циклу оброблення. За останнє десятиліття попит на декоративні породи з високими фізико-механічними властивостями, зокрема на лабрадорит, зростає синхронно із впровадженням «зеленої» інфраструктури та ініціатив ЄС щодо безпечного й сталого постачання критичної мінеральної сировини (Critical Raw Materials Act, 2024). Це обумовлює необхідність мінімізації техногенних втрат і підвищення ресурсної ефективності на ранніх етапах циклу.

Системний огляд методів видобутку блочного каменю демонструє, що алмазно-канатне різання поступово витісняє вибухові й термічні технології завдяки нижчій тріщинуватості продукції та можливості підвищення виходу кондиційних блоків [1]. Однак переважна більшість досліджень зосереджена на вторинному розпилюванні монолітів з трьома вільними площинами; питання первинного врубу – коли масив має лише дві вільні поверхні – залишаються недостатньо висвітленими.

Економічна доцільність канатного різання підтверджена моделями повної собівартості, які доводять, що, попри високу частку витрат на розхідні матеріали (до 40 %), технологія забезпечує стабільно низький рівень відходів у гранітних і базальтових кар'єрах [2, 3]. Разом із тим застосування хімічних генераторів тиску чи розширювальних розчинів, хоча й скорочує часові витрати, спричиняє появу мікротріщин, що знижує вартість блоків [4]. Таким чином, існує проблема між швидкістю виробничого циклу та якістю сировини.

Запропоноване дослідження спрямоване на вирішення зазначеної проблеми шляхом експериментальної перевірки двох альтернативних технологічних схем первинного врубу на Катеринівському родовищі лабрадориту, порівняння їх техніко-економічних показників і розроблення алгоритму розташування свердловин, що мінімізує втрати та максимізує вихід товарних блоків. Отримані результати покликані сформулювати наукову основу для впровадження ресурсоощадних, екологічно безпечних технологій видобутку природного каменю в контексті актуальних вимог міжнародних ринків та правових ініціатив ЄС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика оптимізації видобутку блочного каменю, зокрема при первинному врубі, представлена у науковій літературі досить обмежено. Більшість сучасних досліджень у сфері розробки родовищ природного каменю зосереджені переважно на етапах розпилу моноліту з трьома вільними площинами та знаходженні алгоритмів вписування блоків у природну сітку тріщин. Зокрема, у роботі Abdollahisharif J. та Bakhtavar E. (2017) було запропоновано інтелектуальний алгоритм мінімальних січних площин, що дає змогу знаходити оптимальні розміри видобувних блоків у кар'єрах природного каменю. Авторами акцентується увага на мінімізації кількості розпилів, що сприяє зниженню витрат та втрат матеріалу [5].

Інша група дослідників, зокрема Mosch S., Nikolayew D., Ewiak O., Siegesmund S. (2015), зосередилась на цифрових методах моделювання впливу просторової орієнтації тріщин на розміри блоків. Їхні результати показали, що візуалізація внутрішньої структури масиву у 3D дозволяє значно ефективніше планувати межі майбутніх блоків, адаптуючи процес до природної тріщинуватості, що підвищує вихід товарної продукції [6].

У дослідженні Zhang Y., Li X., та Wang J. (2019) розглянуто застосування геофізичних методів для виявлення внутрішніх дефектів у кам'яних масивах перед початком видобутку. Використання таких методів дозволяє більш точно планувати лінії врубу, зменшуючи ризик утворення тріщин та підвищуючи якість отриманих блоків [7].

Також, у роботі Kumar R. та Singh M. (2020) було проаналізовано вплив різних технологій первинного врубу на ефективність видобутку блочного каменю. Автори порівнювали традиційні методи з сучасними підходами, такими як алмазно-канатне різання, і дійшли висновку, що останні забезпечують вищу точність та менші втрати матеріалу [8].

Попри актуальність тематики, на сьогоднішній день відсутні ґрунтовні дослідження, які б детально розглядали особливості відпрацювання монолітів із двома вільними площинами – тобто первинного врубу. Такий тип масивів трапляється значно рідше у виробничому процесі (переважно 1–2 рази на виробничий блок), проте саме від його якісного відпрацювання залежить геометрична правильність і розмірна орієнтація наступних монолітів, що формуються вже з трьома вільними площинами.

Відповідно, наукова новизна цієї роботи полягає у зосередженні уваги на первинному врубі як окремому технологічному процесі, що може бути оптимізований з метою зниження втрат, підвищення виходу блочної сировини та покращення геометричної якості блоків. Розглянута технологічна схема передбачає модернізацію процесу – відмову від традиційного застосування ГТХ (генераторів тиску хімічного) на користь алмазно-канатного різання з використанням попередньо пробурених свердловин. Такий підхід дозволяє уникнути руйнування масиву поблизу площини відділення, що значно знижує кількість некондиційних блоків і покращує загальні техніко-економічні показники виробництва.

Таким чином, у науковому дискурсі ця публікація заповнює існуючу прогалину в дослідженнях, пов'язаних з аналізом і вдосконаленням технології первинного врубу в умовах блочного видобутку природного каменю. Вона доповнює існуючі підходи інноваційною практичною реалізацією на діючому підприємстві, з обґрунтованими розрахунками, порівняннями та підтвердженою ефективністю у реальних виробничих умовах.

Мета статті (постановка завдання). Метою дослідження є удосконалення технології проведення первинних врубів у видобутку блоків природного каменю, зокрема лабрадориту, з урахуванням сучасних методів буріння та алмазно-канатного різання. Дослідження спрямоване на зниження втрат гірської маси, підвищення виходу кондиційних блоків, зменшення частки некондиційної сировини та підвищення ефективності використання ресурсів родовища. Актуальність обумовлена тим, що первинні вруби, які формують блоки з двома вільними гранями, є найбільш енерговитратним та технологічно складним етапом виробничого циклу, проте саме від їх якості залежить подальша геометрія блоків і рівень втрат.

Поставлені завдання дослідження:

– визначити вплив конфігурації та розташування свердловин при первинному врубі на вихід блоків;

- оцінити техніко-економічні параметри двох варіантів технологічного процесу первинного врубування;
- здійснити порівняльний аналіз втрат сировини під час буріння та різання;
- запропонувати вдосконалену схему відпрацювання первинного врубу з використанням комбінації алмазно-канатного різання і клинового методу;
- розрахувати показники ефективності нової технології та обґрунтувати доцільність її впровадження на підприємстві.

Виклад основного матеріалу. Катеринівське родовище лабрадоритів характеризується сприятливими гірничо-геологічними умовами та належить до 1-ї групи за складністю геологічної будови. Запаси корисної копалини становлять 223,0 тис. м³, що дає змогу здійснювати планомірне видобування за рахунок низького коефіцієнта розкриву 0,32 м³/м³ [9, 10].

Попередні дослідження й натурні вимірювання визначили теоретичний вихід товарних блоків близько 29,2%, при цьому реальний вихід під час дослідно-промислових випробувань склав 22%. Різниця між теоретичними й фактичними значеннями пояснюється певною мінливістю тріщинуватості порід на глибині та впливом технологічних особливостей обраної методики відпрацювання [11].

Під час дослідження схеми проведення первинного врубу на підприємстві обиралася ділянка з наявними двома вільними площинами (зокрема одна горизонтальна й одна вертикальна), що є критично важливим для роботи алмазно-канатного обладнання. Водночас оптимальна організація буріння свердловин, відокремлення моноліту та його завалення дає змогу сформулювати умови для відпрацювання наступних монолітів із трьома вільними площинами.

При відпрацюванні масиву за допомогою первинного врубу більшість операцій розпочинається з організації бурових робіт. У досліджуваній технологічній схемі застосовували два типи свердловин:

1. Вертикальні й горизонтальні діаметром 90 мм, пробурені буровою установкою «QZ-65-90B».
2. Вертикальні свердловини діаметром 36 мм, виконані буровою машиною «SANDVIK 300» (або подібним обладнанням).

Встановлення бурових машин і безпосередньо процес буріння мають значну тривалість і впливають на загальний час циклу. Під час емпіричного дослідження було встановлено, для двох горизонтальних свердловин сумарна довжина становила 22 м, а на буріння 1 метра горизонтальної свердловини витрачається в середньому 23 хвилини. Таким чином, загальна тривалість лише горизонтальних свердловин – 8 год 26 хв. Вертикальні свердловини діаметром 90 мм (2 шт. по 6,5 м) бурилися швидше – 19 хвилин на метр завдяки додатковому тиску сили тяжіння.

Для контрольованого відділення моноліту та подальшого розділення за допомогою ГТХ «Літокол», створювалися також стрічки свердловин діаметром 36 мм. Зокрема, перша стрічка (15 свердловин по 6 м) передбачала сумарно 3 години на буріння й 2 год 30 хв на встановлення, тоді як друга (22 свердловини) займала 4 год 24 хв і 3 год 40 хв відповідно (рис.1). Аналіз дає підстави вважати, що вибір оптимальної кількості свердловин і точне позиціонування можуть знизити загальні витрати часу, шляхом зменшення обсягу робіт [12].

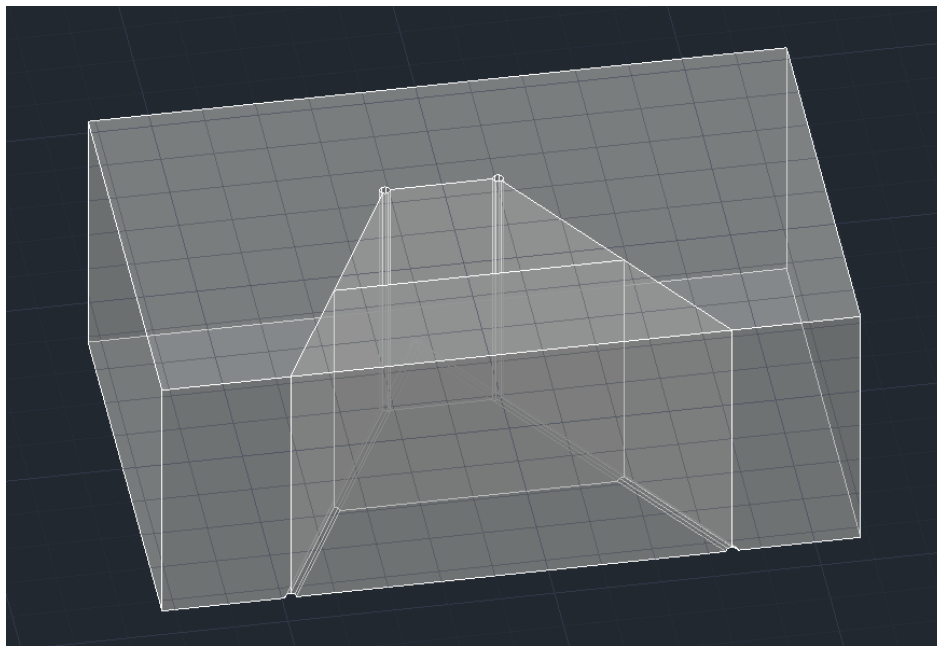


Рис. 1. Приклад поділу масиву при використанні першої схеми

Різання моноліту з підшви та двох бокових граней здійснюється канатною машиною типу TSY-37, а також подібними алмазно-канатними установками, що дають змогу виконувати довгі, відносно тонкі пропили. Перевага такого способу полягає у високій точності та порівняно низьких вібраційних навантаженнях, що зменшує ризик мікротріщин [13, 14].

У дослідженій схемі алмазно-канатна машина встановлювалася двічі:

- для виконання горизонтального різу (площа $45,2 \text{ м}^2$) і різання однієї з бокових граней ($54,67 \text{ м}^2$).
- для відокремлення другої бічної грані ($56,88 \text{ м}^2$).

Сумарний час на різання трьох граней склав 40 год 31 хв (включно з повторним встановленням та протягуванням канату). У ширині пропилу приблизно 13 мм криються й певні втрати сировини, які, проте, у більшості випадків компенсуються перевагами точності, швидкості та зменшенням «травмування» моноліту.

Однією з фінальних операцій, що вивчалася в межах технології прийнятої на підприємстві, стало відділення потиличної грані моноліту за допомогою ГТХ «Літокол». Дана методика передбачає:

- проливання дизельним паливом, з'єднання подовжуючих дротів, монтаж схеми закладання. (підготовчі роботи);
- безпосередній процес заряджання й ініціювання хімічної реакції, що зумовлює локальний тиск і розколювання породи.

За статистикою випробувань, загальний час підготовчих заходів становив 42 хвилини, а саме заряджання тривало до 54 хвилин. Завдяки цьому формувалося контрольоване відділення моноліту від масиву без застосування ВР. Такий підхід зручний за умови порівняно малого обсягу моноліту, або високої тріщинуватості масиву гірських порід. Окрему увагу слід приділяти ретельній організації та безпеці персоналу.

У процесі дослідного відпрацювання моноліту об'ємом 365,04 м³ було здобуто 52,78 м³ кондиційних блоків та 114,3 м³ некондиційних блоків, загальний вихід товарної сировини склав 45,77% . З-поміж останніх значну частину становили блоки, котрі не відповідали вимогам стандарту через надмірну тріщинуватість або невідповідність формі, що суттєво знижує ціну комерційної реалізації.

Основні операції:

- буріння QZ-65-90B: 18 год 54 хв (у т. ч. 6 год 21 хв підготовка + 12 год 33 хв буріння);
- буріння SANDVIK 300: 13 год 34 хв (6 год 10 хв підготовка + 7 год 24 хв буріння);
- різання TSY-37: 37 год 23 хв (1 год 18 хв підготовка + 36 год 5 хв різання);
- ГТХ «Літокол»: 1 год 36 хв (42 хв підготовка + 54 хв зарядка).

В результаті сукупні втрати на буріння й різання були відносно помірними (0,471 м³ і 2,038 м³ відповідно), що підтверджує збалансованість вибраних діаметрів свердловин і товщини пропилю.

Друга схема передбачала відмову від застосування ГТХ «Літокол» на користь подальшого відколювання потиличної грані клинами. Моноліт після відділення від масиву розділявся на дві частини, кожна з яких пасерувалася на окремі пласти, а потім завалювалася з використанням клинів (рис. 2). Головна відмінність – збільшення площі різку та, відповідно, зростання втрат матеріалу через ширину пропилю.

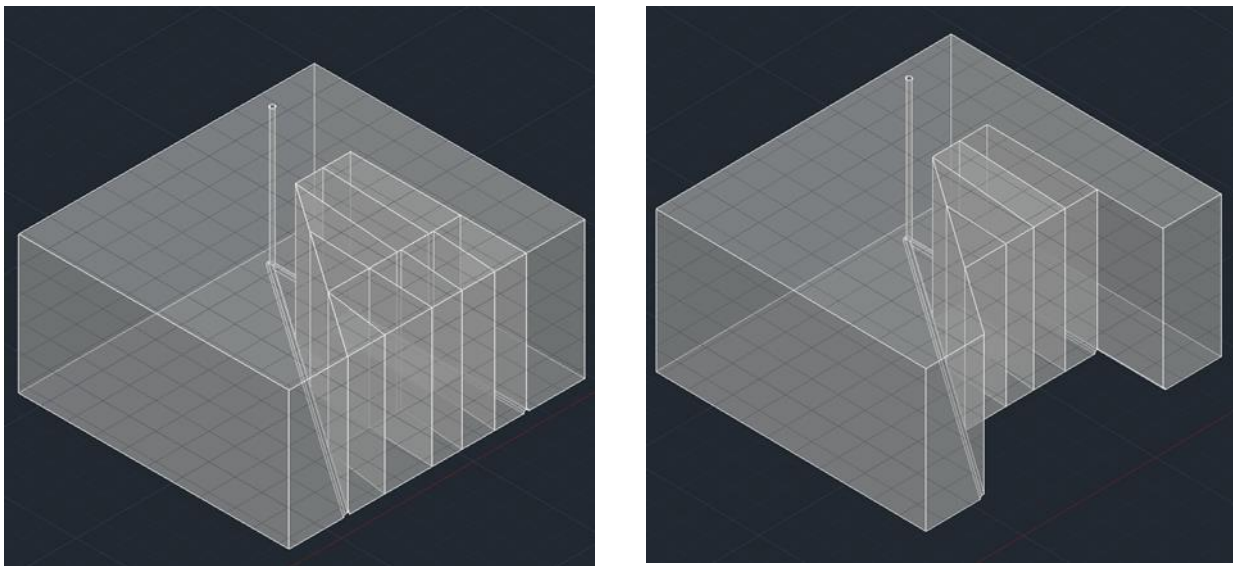


Рис. 2. Приклад поділу масиву при використанні другої схеми

Витрати часу на бурові роботи при такій схемі також були поділені на горизонтальні й вертикальні свердловини, проте їх кількість та розташування мали певні відмінності (наприклад, свердловини 12 м і 15 м завдовжки, додаткові 3-метрові та 2-метрові пасерувальні пропили):

- загальний час встановлення буріння та розбирання установкою QZ-65-90B: 28 год 32 хв;

– роботи зі встановлення і буріння SANDVIK DC 120 (або «SANDVIK 300»): 19 год 4 хв;

– алмазно-канатне різання за допомогою TSY-37: 72 год 40 хв, бо додалося кілька етапів різку моноліту з різних боків;

– відколювання клинами з урахуванням часу підготовки та власне відколювання: 1 год 12 хв.

Як наслідок, загальні втрати матеріалу при різанні були більшими, оскільки збільшилася сумарна площа різку ($316,56 \text{ м}^2$, якщо рахувати всі операції алмазно-канатного відділення). Сумарні втрати при бурінні збільшились, оскільки бурові роботи спрямовані на забезпечення алмазно-канатного різання ($0,620 \text{ м}^3$ для всіх видів бурових робіт). Однак фактичний вихід товарної сировини сягнув 74,1%, що значно вище від показника першої схеми. У цьому полягає ключова перевага: хоч затрати часу й збільшилися, а втрати на пропили стали більшими, зате остаточна комерційна цінність блоків підвищилася.

Обговорення результатів. Загалом перша схема (із залученням ГТХ «Літокол») забезпечує менші втрати матеріалу при різанні та бурінні, порівняно невеликі часові витрати на окремих етапах (різання, буріння), проте має нижчий вихід кондиційної продукції, що пояснюється характером впливу хімічного генератора тиску на моноліт. Хоча саме руйнування є контрольованим, у прилеглих зонах навколо свердловин часто виникають мікротріщини, а також посилюється ризик появи «сітки» тріщин у потиличній частині блоку. ГТХ інтенсивно збільшує тиск в існуючих тріщинах, та не дозволяє контролювати форму шматків. Це сприяє збільшенню кількості некондиційних блоків та зниженню відсотка товарної сировини (45,77% від загального об'єму). Втрата монолітності на етапі потиличного відділення призводить до зменшення середнього комерційного розміру блока та підвищення долі некондиційних фрагментів.

Натомість друга схема, яка повністю відмовляється від ГТХ «Літокол» на користь алмазно-канатного різання з додатковим відколюванням клинами, забезпечує значно вищий вихід товарної сировини (74,1%). Це пояснюється тим, що процес різання алмазним канатом відбувається з мінімальним «травмуванням» прилеглих до лінії відділення зон; відсутність у даній схемі хімічного впливу знижує ризик утворення локальних зон мікроруйнування. Водночас збільшення загальної кількості пропилів зумовлює значні втрати від товщини канатного різку, а збільшення протяжності свердловин сприяє більшим сумарним втратам під час буріння. Крім того, спостерігається суттєве зростання тривалості всього циклу (понад 120 годин). Тобто маємо певний компроміс: час буріння і різання зростає, проте остаточна комерційна рентабельність відпрацьованих блоків помітно підвищується за рахунок кращої форми та більшої збереженості структури моноліту.

Стосовно буріння, в обох схемах це один з найбільш часовитратних та матеріаломістких процесів. У першій схемі менше свердловин великого діаметра (90 мм), але їх значна глибина й використання ГТХ «Літокол» не завжди дає змогу сформувати рівний відкол. У другій — хоч і застосовано більше свердловин, проте їх раціональне розташування позитивно впливає на формування рівних граней і знижує рівень некондиційності.

Алмазно-канатне різання вважається більш щадним з точки зору цілісності блочної сировини, що підтверджує тенденцію до вищого виходу якісних блоків при другій схемі. Водночас зростає сумарна площа пропилу, що підвищує матеріальні втрати (оскільки середня ширина канату становить 13 мм) і подовжує технологічний цикл. Зарубіжні дослідники також наголошують, що впровадження цифрових підходів до визначення оптимальних ліній різку здатне ще більше зменшити небажані втрати матеріалу та пришвидшити процес.

У першій схемі некондиційна частка сягнула понад 30% від загального обсягу готових блоків, тоді як у другій – близько 25%. Крім того, суттєво збільшився обсяг кондиційних блоків (182,7 м³ для другої схеми, проти 52,78 м³ першої схеми). Частково це пов'язано з меншою кількістю мікротріщин, локалізованих при безударному механічному відділенні потиличної грані. Відповідно, підвищується комерційна цінність отриманої продукції (більший середній розмір блоку та менше дрібних уламків).

Аналіз хронометражу свідчить, що перша технологія є швидшою приблизно на 40–45%, проте дає нижчий вихід товарного блоку. Для підприємств, які роблять ставку на якісну блочну сировину та експортують великогабаритні плити, ефективнішим може бути саме другий варіант, попри збільшення тривалості робіт. Водночас варто враховувати специфіку кар'єру, обсяги промислових запасів, особливості тріщинуватості та гірничо-геологічні умови.

Висновок. У ході дослідження вперше для вітчизняної практики блочного видобутку лабрадориту проведено комплексне техніко-економічне порівняння двох технологічних схем первинного врубу моноліту з двома вільними площинами. Новизна роботи полягає у запропонованій оптимізованій конфігурації свердловин у поєднанні з алмазно-канатним різанням та механічним відколюванням клинами, яка дозволила підвищити вихід кондиційних блоків з 45,77 % до 74,1 % і зменшити частку некондиційної продукції без залучення вибухових чи хімічних речовин.

Отримані результати поглиблюють теорію руйнування гірських порід у режимі сформованих обмежень: встановлено, що контрольована орієнтація свердловин забезпечує рівномірний розподіл напружень уздовж потиличної грані, знижуючи ймовірність генерації мікротріщин. Запропонований алгоритм вибору площин різку та кроку свердловин доповнює існуючі моделі й може слугувати базою для подальшої оптимізації процесів у кар'єрах природного каменю.

Практична значущість підтверджена дослідно-промисловими випробуваннями на Катеринівському родовищі: підприємства, орієнтовані на виробництво великогабаритних декоративних блоків, можуть очікувати зростання рентабельності щонайменше на 20–25 % завдяки збільшенню товарного виходу та підвищенню геометричної якості продукції. Додатковою перевагою є зменшення техногенного навантаження на довкілля за рахунок відмови від вибухових методів і хімічних генераторів тиску.

Перелік посилань

1. Samarakoon, K. G., Chaminda, S. P., Jayawardena, C. L., Dassanayake, A. B., Kondage, Y. S., & Kannangara, K. A. T. T. (2023). A review of dimension stone extraction methods. *Mining*, 3(3), 516–531. <https://doi.org/10.3390/mining3030029>
2. Raza, M. A., Raza, S., Khan, M. U., Emad, M. Z., Jalil, K., & Saki, S. A. (2023). Cost modelling for dimension stone quarry operations. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 123(11), 521–526. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1578/2023>
3. Careddu, N., Marras, G., & Siotto, G. (2019). Diamond wire sawing in ornamental basalt quarries: Technical, economic and environmental considerations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1374-1>
4. Rasool, S. A., Hussain, Z., Ahmed, W., Ahmed, K., & Shahid, A. (2023). Utilization of marble waste for the production of eco-friendly concrete. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research: Series A*, 66(3), 123–129.
5. Ghorbani, Y., Bakhtavar, E., & Abdollahisharif, J. (2020). A decision support system for optimal block size determination in dimension stone quarries. *Resources Policy*, 68, 101776. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101776>
6. Mosch, S., Nikolayew, D., Ewiak, O., & Siegesmund, S. (2011). Optimized extraction of dimension stone blocks. *Environmental Earth Sciences*, 63(7–8), 1911–1924. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0825-7>
7. Shang, Y.-J., Yang, C.-G., Jin, W.-J., Chen, Y.-W., Hasan, M., Wang, Y., Li, K., Lin, D.-M., & Zhou, M. (2021). Application of integrated geophysical methods for site suitability of research infrastructures (RIs) in China. *Applied Sciences*, 11(18), 8666. <https://doi.org/10.3390/app11188666>
8. Rehman, Z. U., Hussain, S., Mohammad, N., Raza, S., Sherin, S., Khan, M., Tahir, M., & Khan, M. (2018). Comparative analysis of different techniques used for dimension stone mining. *Geological Bulletin of the University of Peshawar*, 51(1), 29–38.
9. Khoshouei, M., Jalalian, M. H., & Bagherpour, R. (2020). The effect of geological properties of dimension stones on the prediction of specific energy (SE) during diamond wire cutting operations. *Rudarsko-Geološko-Naftni Zbornik*, 35(3), 17–27. <https://doi.org/10.17794/rgn.2020.3.2>
10. Elkarmoty, M., Tinti, F., Kasmaeeyazdi, S., Giannino, F., Bonduà, S., & Bruno, R. (2018). Implementation of a fracture modeling strategy based on georadar survey in a large area of limestone quarry bench. *Geosciences*, 8(12), 481. <https://doi.org/10.3390/geosciences8120481>
11. Котенко, В. В., Піскун, І. А., & Ігнатюк, Р. М. (2024). Дослідження міри впливу розмірів блоків природного каменю на ефективність роботи вантажного устаткування за умов ПП «Кванта-ЛЧ». *Технічна інженерія*, 1(93), 356–362. [https://doi.org/10.26642/ten-2024-1\(93\)-356-362](https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-356-362)
12. Raza, M. A., Raza, S., Khan, M. U., Emad, M. Z., Jalil, K., & Saki, S. A. (2023). Cost modelling for dimension stone quarry operations. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 123(11), 521–525. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1578/2023>
13. Schneider-Löbens, C., Siegesmund, S., Stein, K.-J., & Löbens, S. (2022). Joint analysis as an important tool for an optimizing block extraction of natural stones. *Environmental Earth Sciences*, 81(3). <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10177-3>
14. Bagherpour, R., Khademian, A., Almasi, S. N., & Aalaei, M. (2014). Optimum cutting wire assembly in dimension stone quarries. *Journal of Mining and Metallurgy, Section A: Mining*, 50(1), 1–8

ABSTRACT

Purpose. The aim of the study is to improve the primary cutting technology in the extraction of natural stone blocks, particularly labradorite, through optimization of borehole placement and the implementation of diamond wire cutting while abandoning the use of chemical rock splitting agents (CRSA).

The methods. The research was conducted at the Katerynivske labradorite deposit, which is characterized by favorable mining and geological conditions. Two alternative technological schemes for primary cutting were analyzed: one employing the CRSA "Litokol," and the other relying solely on diamond wire cutting combined with mechanical splitting using wedges. The methodology included time-and-motion studies of technological operations, assessment of raw material losses during drilling and cutting, determination of the yield of marketable products, and a techno-economic comparison of both approaches.

Findings. It was found that the scheme involving CRSA results in lower material losses during drilling and cutting operations and reduces cycle time by up to 45%. However, it generates a higher proportion of substandard blocks due to microcracks and irregular fracture surfaces. In contrast, the alternative scheme without CRSA led to a significant increase in the yield of commercial-grade products (up to 74.1% compared to 45.77%), improved block shape, and enhanced market value, despite longer process duration and higher cutting losses.

The originally. For the first time in domestic natural stone extraction practice, the efficiency of primary cutting using two alternative technological schemes was comprehensively analyzed, taking into account the specific requirements for forming monoliths with two free surfaces. The study substantiates the advantages of combining diamond wire cutting with wedge-based splitting over traditional explosive methods, particularly in terms of preserving rock integrity and ensuring economic viability.

Practical implementation. The results obtained can be directly applied in enterprises engaged in block stone extraction. The proposed scheme enhances production profitability, allows technological adaptation to the geological conditions of specific deposits, and reduces the environmental impact through the minimized use of chemical reagents. Implementation is recommended at sites with elevated requirements for block quality and geometric precision.

Keywords: *natural stone, block stone extraction, primary cutting, labradorite.*