

## **НОВІ ПІДХОДИ Й МЕТОДИ ВІДДІЛЕННЯ МОНОЛІТНИХ БЛОКІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЯ ВІД СКЕЛЬНОГО МАСИВУ ЕНЕРГІЄЮ ВИБУХУ**

**Коновал В. М., Іщенко К. С.**

### **ВСТУП**

Динамічний розвиток будівельної галузі у світі й в Україні потребує значних заощаджень в інноваційні розробки технологій видобутку будівельних матеріалів, до яких належить природний камінь. Природний камінь, у складі якого присутній різного типу й кольору граніт, займає особливе місце серед великої номенклатури будівельних матеріалів. За останні 70 років світове виробництво природного каменю збільшилось майже у 25 разів, водночас протягом останніх двадцяти років щорічний приріст виробництва й споживання каменю в середньому становив 7,4%. За прогнозними оцінками на найближчі десятиліття це зростання продовжиться, та світовий видобуток каменю збільшиться більш ніж у 4 рази.

Магматичні гірські породи, до яких належить природний камінь, через властиву їм високу міцність розробляються вибуховим способом, причому витрати коштів на буропідривні роботи складають не менше ніж 25–30% від собівартості отриманої продукції. Технологія відділення блоків від масиву для виробництва облицювального й будівельного матеріалу значною мірою залежить від їх фізико-механічних властивостей, дефектів будови (мікротріщин), просторового орієнтування пороодоутворюючих мінералів (мікроструктури) і від тріщинуватості гірського масиву, що руйнується (макроструктури). Мікроструктура й макроструктура магматичної полімінеральної гірської породи, тобто частота розташування макротріщин, їх морфологія та просторове положення мають вирішальний вплив на характер розповсюдження тріщин у масиві під час підготовки до відділення моноліту на стадії квазістатичної дії вибуху. У підсумку саме мікроструктура полімінерального середовища впливає на якість відділеного блоку, тобто на придатність надалі до використання товарної продукції в будівництві.

## 1. Передумови виникнення проблеми

Як зазначалося вище, інтрузивні породи та їх різновиди, до яких належить граніт, є основною природної сировинної бази для отримання облицювального й будівельного матеріалу. Він міцний, нескладний в обробці й, головне, має колосальну безліч кольорових відтінків. Але, не дивлячись на те, що його запаси в країнах співдружності значно перевищують запаси країн далекого зарубіжжя, видобуток та обробка їх відстає в 3–4 рази в порівнянні з Італією, Бельгією, США, Великобританією. Його споживання вже давно перевищує 500 млн м<sup>3</sup>, а обороти з його продажу обчислюються десятками мільярдів доларів. Водночас, починаючи з 90-х років минулого століття, споживання природного каменю в Україні й країнах співдружності зростає в середньому на 10–12% на рік. Разом із тим таке стрімке зростання попиту на природний камінь аж ніяк не означає аналогічних темпів розвитку вітчизняного видобутку й обробки каменю<sup>1</sup>.

Однак через низький технічний рівень підприємств галузі, зумовленого відсутністю ефективних засобів видобутку й обробки міцних порід, ці природні багатства використовуються недостатньо. Потреби народного господарства країн співдружності у виробках із природного каменю забезпечуються лише на 10 ... 15%, а запити експорту – на 5 ... 10%.

Що ж стосується України, то повне задоволення потреби народного господарства в архітектурних, облицювальних і будівельних виробках із природного каменю зумовлює залучення в розробку родовищ як тріщинуватих, так і обводнених скельних порід. Водночас розвиток каменеобробних галузей промисловості потрібно розглядати як одне з перспективних завдань, вирішення якого можливе шляхом впровадження сучасної технології його відділення від масиву й високопродуктивного обладнання з його обробки, що є актуальною науково-прикладною задачею, рішення якої й присвячена робота.

---

<sup>1</sup> Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Нурымов Е.К., Букаева А.З. Современное состояние добычи блочного строительного камня из крепких горных пород. *Сборник трудов XXIII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века»*. Донецк : МСМ, 2016. Том 2. С. 90–95.

## 2. Аналіз наявних методів і засобів розв'язання проблеми й постановка задач досліджень

Установлено, що інтенсивність видобутку блокового природного каменю в масивах обводнених, тріщинуватих порід неможливо збільшити без переходу на спосіб відділення монолітів від масиву свердловинними зарядами, наприклад, димного пороху, з подальшим збільшенням висоти уступу до 6,0 м<sup>2</sup>. Звідси випливає й основна вимога до кар'єрів блокового природного каменю – якості ведення гірничих робіт, яка полягає в збереженні й цілісності (монолітності) масиву, що розробляється, а недосконала технологія видобутку блокового природного каменю буропідривним способом є однією з головних причин низького виходу блоків на кар'єрах.

Вітчизняними й закордонними вченими проведено ряд досліджень у промислових умовах, які дозволили отримати цікаві результати. Вони показали, що ефективність видобутку гранітних блоків відкритим способом залежить від вибору тієї чи іншої технологічної схеми, яка містить облік розмірів природних блоків каменю, що розташовуються в масиві й визначаються показниками тріщинуватості<sup>3 4 5 6</sup>.

Установлено, що за блоками природного походження та тріщинуватістю масиву визначається можливість та економічна доцільність розробки родовищ облицювального каменю. Тому гірничо-геометричний аналіз структури масиву представляє не тільки теоретичний інтерес, але й має важливе практичне значення. Звідси випливає, що структура масиву являє собою геометричну безліч його монолітних частин, а також результат формування в масиві гірських порід мережі природної тріщинуватості. Так, природний структурний блок, обмежений тріщинами, має форму прямої або похилої призми. Тому на форму природного блоку впливають

---

<sup>2</sup> Мандринкевич В.Н., Морозова Т.В., Усик І.І. Разработка месторождений природного камня взрывным способом. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. 2016. Вып. 92. С. 78–82.

<sup>3</sup> Madjid YU, Emad M.Z., Rehman G., Arshad M. Influence of the methods of extraction of block stone in the Hevra quarry on the quality of the separated blocks. *Journal of Mining Science*. 2019. № 4. P. 105–121. DOI: 10.15372/FTPRPI20190412.

<sup>4</sup> Pershin G.D., Karaulov N.G., Ulyakov M.S. The research of high-strength dimension stone mining technological schemes in Russia and abroad. *Sbornik nauchnyih trudov SWorld*. Odessa : Kuprienko, 2013. Rel. 2. Tom 11. P. 64–73.

<sup>5</sup> Pershin G.D., Karaulov N.G., Ulyakov M.S., SHarov V.N. Features of diamond-wire saws application for rock overburden re-removal at marble quarry construction. *Sbornik nauchnyih trudov SWorld*. Odessa : Kuprienko, 2013. Rel. 3. Tom 14. P. 39–42.

<sup>6</sup> Першин Г.Д., Караулов Н.Г., Уляков М.С. Современные технологические схемы добычи блочного высокопрочного камня. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2015. № 3. С. 5–11.

геометричні характеристики залягання тріщин у масиві – азимут простягання та кут падіння, а на його обсяг – відстань між основними системами тріщин<sup>7</sup>. Таким чином, структура гірського масиву може бути описана як параметрами природної тріщинуватості, так і параметрами природної блоковості, які в сукупності й визначають поточний прогноз виходу товарних блоків із масиву.

На практиці в більшості випадків причина невисокого використання потенціалу родовищ облицювального каменю полягає в недостатній відповідності застосовуваної технології видобутку блоків структурним особливостям породного масиву, що розробляється. Процентний вміст різних за обсягом природних блоків у масиві, а також їх форма визначають економічну доцільність застосування одно- або двостадійної схеми видобутку каменю. Необхідність застосування двостадійної технології видобутку зумовлена складним заляганням природних тріщин на родовищі, коли природний блок, з якого складається масив, утворений декількома системами крутоспадних тріщин і системою первинно-пластових (пологоспадних) тріщин. Як показує досвід, двостадійна технологія особливо ефективна під час розробки родовищ, коли товща гірських порід має незначну тріщинуватість. До таких родовищ належать родовища групи мармурів, які відпрацьовуються за двостадійною схемою (понад 90%).

Що ж стосується породних масивів групи гранітів, то вони розбиті трьома системами розвинених, практично ортогональних один до одного тріщин із різними відстанями між ними. Першу систему утворюють пластові тріщини, що мають горизонтальне залягання або залягання з незначним нахилом (кут падіння становить 5–15°). До другої та третьої систем належать поздовжні й поперечні тріщини, які мають майже вертикальне падіння. На їх частку припадає 40–50 і 25–30% від загальної кількості тріщин відповідно.

Родовища блокового каменю, до яких належать граніти, – це міцні гірські породи з розвиненою анізотропією фізико-механічних властивостей; їх доцільно розробляти з використанням шпурових (свердловинних) зарядів металюї вибухової речовини (димного

---

<sup>7</sup> Першин Г.Д., Уляков М.С. Повышение выходов блоков высокопрочного камня на месторождениях со сложным залеганием природных трещин в массиве. *ФТПРПИ*. 2015. № 2. С. 118–123.

пороху). Застосовують і іншу технологію вибухового відділення первинного моноліту – з використанням трубок Forsit<sup>8</sup>. Детонація за такої умови поширюється послідовно частинами блоку, і тому такий спосіб підривання практично не впливає на блоковість каменю.

Для забезпечення високої інтенсивності видобутку блоків природного каменю необхідно забезпечити достатні темпи просування фронту гірничих робіт із випередженням їх на розкритому горизонті. Тому підривання скельних порід розкривання на кар'єрах найчастіше роблять за схемою з попереднім їх оконтурюванням. Сутність цієї схеми підривання полягає в тому, що частина масиву руйнується вибухом контурних вертикальних і горизонтальних розосереджених свердловинних зарядів вибухової речовини (далі – ВР), наприклад, амоніту № 6ЖВ.

Цей традиційний спосіб підривання за схемою з попередньою контурною відбійкою порід не забезпечує надійного збереження монолітності масиву, що відбивається, в якому під дією ударної хвилі з'являються радіальні тріщини, що неприпустимо під час виробництва розкривних робіт на родовищі, яке готували до розробки на блоковий камінь. Крім цього, необхідність буріння та заряджання як вертикальних, так і горизонтальних свердловин зумовлює високу трудомісткість способу.

Для реалізації ресурсозберігаючої технології відділення блоків природного каменю від масиву скельних гірських порід нами запропоновано новий підхід до вибухового відділення монолітів від скельного масиву, заснований на використанні конструкції комбінованого шпурового (свердловинного) заряду ВР для розколювання блоку, що дозволяє сформувати спрямовану мережу тріщин як у монолітній, так і в тріщинуватій породі в напрямі площині розташування орієнтованих шпурів (свердловин).

**Мета роботи (The purpose of this work)** – провести обґрунтування експериментальними й теоретичними дослідженнями раціональних параметрів нової ресурсозберігаючої технології відділення моноліту від скельного масиву енергією вибуху.

---

<sup>8</sup> Дубровский А.Б., Уляков М.С. Выбор оборудования при разработке Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов. *Горный журнал*. 2011. № 5. С. 67–70.

### **3. Об'єкти, обладнання, методи й методики обґрунтування технологічних параметрів відділення блоків природного каменю від масиву**

Для обґрунтування раціональних параметрів коригованої технології руйнування гірських порід під час відділення блоків від масиву необхідно провести теоретичні дослідження щодо забезпечення максимального виходу товарних блоків із масиву, розрахувати основні величини початкових тисків і деформацій від вибуху шпурового (свердловинного) заряду димного пороху. Експериментальними дослідженнями на піщано-цементних моделях блокової структури встановити основні особливості їх руйнування комбінованим зарядом димного пороху, які будуть враховані в процесі обґрунтування раціональних параметрів нової технології відділення монолітів від скельного масиву.

Практикою ведення видобувних робіт на гранітних кар'єрах доведено ефективність використання двостадійної схеми з відділенням моноліту від масиву на першому етапі й обробленням блоку перекинутого моноліту на робочу площадку на другому етапі, яка добре зарекомендувала себе під час видобутку мармурової сировини на кар'єрах країн співдружності. Водночас головною метою двостадійної технології також залишається забезпечення підвищення виходу товарних блоків в умовах складної конфігурації залягання природних тріщин у масиві шляхом обґрунтованого вибору лінійних розмірів блоку моноліту.

Припустимо, що природний гранітний блок, взятий як приклад для обґрунтування скоригованої технології відділення його від масиву (Капустянський гранітний кар'єр, м. Новоукраїнка, Кіровоградська обл.), представлений сіро-червоним, а також насиченим червоним крупнозернистої структури гранітом, що має у своїй товщі чітко виражені червоні кристали мікрокліну міцністю  $f = 12\text{--}14$  балів за шкалою проф. М.М. Протод'яконова. Він обмежується площинами трьох майже взаємно ортогональних і найбільш розвинених у масиві систем тріщин, до яких належать система полого спадних і дві системи крутоспадних тріщин.

Насамперед для визначення висоти й довжини моноліту на уступі блоку розглянемо фронтальну (поздовжню) площину моноліту так, щоб сліди першої основної (пологоспадної) системи тріщин і другої основної (крутоспадної) системи на фронтальну площину являли

собою лінії падіння таких тріщин. Для цього за отриманою картограмою тріщинуватості фронтальної площини моноліту, яка є проєкціями природних блокових структур, обмежених площинами під час відділення моноліту від масиву, будуюмо прямокутники, одна зі сторін яких збігається з напрямом системи тріщин, що мають мінімальні між собою відстані, тобто максимальне їх розповсюдження в масиві. Тоді для мінімізації втрат обсягів природного каменю, що становить моноліт, проведемо обґрунтування основних технологічних параметрів розробки: висота уступу, геометричні параметри моноліту згідно із структурними особливостями гранітного масиву.

Скористаємося запропонованою в роботі<sup>9</sup> розрахунковою схемою, в якій висота й довжина моноліту представлена як чисельні значення кількості пологоспадних і крутоспадних блокових структур, розділених системою тріщин, що дозволять розрахувати їх технологічні параметри. З вище сказаного випливає, що за висоту моноліту приймаємо відстань, кратну числу пологоспадних блокових структур, а довжина моноліту визначається числом, кратним круто- й пологоспадним окремим блоковим структурам у межах фронтальної площини моноліту.

Тоді згідно з розробленою методикою розрахунку ми отримали геометричні рівняння в параметричному вигляді, що зв'язують шукані лінійні параметри моноліту з гірничо-геометричними параметрами тріщинуватості масиву:

$$H_y = H_m = n_{\Pi} l_{\Pi} \sin \delta_{\kappa} / \sin \gamma, \quad (1)$$

$$L_m = n_{\kappa} \frac{l_{\kappa}}{\sin \delta_{\kappa}} + n_{\Pi} \frac{l_{\Pi}}{\sin \gamma} \cos \delta_{\kappa}, \quad (2)$$

$$k_{\text{т.п}} = \frac{\left[ (n_{\Pi} l_{\Pi})^2 \sin \delta_{\kappa} \cos \delta_{\kappa} \right] / (\sin \gamma)^2 + l_{\kappa}^2 n_{\kappa} \operatorname{ctg} \delta_{\kappa} + n_{\Pi} n_{\kappa} l_{\kappa}^2 \operatorname{ctg} \gamma}{H_m L_m}, \quad (3)$$

де  $n_{\kappa}$  і  $n_{\Pi}$  – кількість окремих блокових структур круто- й пологоспадних тріщин масиву, шт.;  $\delta_{\Pi}$  – кути падіння круто- й

---

<sup>9</sup> Першин Г.Д., Уляков М.С. Обоснование комбинированного способа подготовки к выемке блочного высокопрочного камня. *Изв. вузов. Горн. журн.* 2013. № 4. С. 15–18.

пологоспадних систем тріщин, град;  $\gamma$  – кут між круто- й пологоспадними системами тріщин, град;  $l_k$  и  $l_{\Pi}$  – відстань між круто- й пологоспадними системами тріщин, м;  $k_{т.п}$  – коефіцієнт відносних технологічних втрат блокової продукції.

А сумарні відносні технологічні втрати природного блокового каменю запишемо у вигляді функції висоти уступу (1). У результаті вираз (3) матиме такий вигляд:

$$k_{т.п} = \frac{H_y^2 \operatorname{ctg} \delta_k + H_y \left( \frac{l_k^2}{l_{\Pi}} \right) n_k (\cos \gamma / \sin \delta_k) + n_k l_k^2 \operatorname{ctg} \delta_k}{H_y \left( H_y \operatorname{ctg} \delta_k + n_k l_k / \sin \delta_k \right)}. \quad (4)$$

Тоді екстремум технологічних втрат відповідає умові:

$$\delta k_{т.п} / \delta H_y = 0, \quad (5)$$

за якою можна описати залежність для розрахунку оптимальної (з мінімальними технологічними втратами блокового каменю) висоти уступу:

$$H_y^{\text{оп}} = \frac{l_k \left\{ \cos \delta_k + \sqrt{(\cos \delta_k)^2 + n_k \left[ 1 - (l_k / l_{\Pi}) \cos \gamma \right]} \right\}}{1 - (l_k / l_{\Pi}) \cos \gamma}, \quad (6)$$

Оптимальну висоту уступу розрахуємо з виразу (2), а раціональну довжину моноліту з:

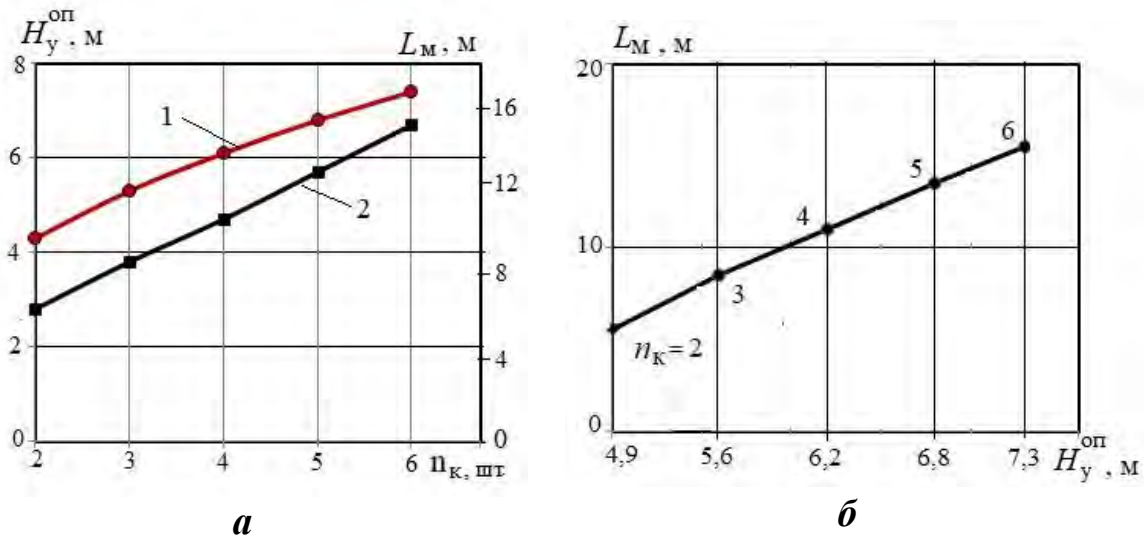
$$L_m = n_k \frac{l_k}{\sin \delta_k} + H_y^{\text{оп}} \operatorname{ctg} \delta_k. \quad (7)$$

Використовуючи вирази (6) і (7) за встановленого чисельного значення  $n_k$ , що характеризує тріщинуватість масиву, розрахуємо оптимальне значення висоти уступу й раціональне значення довжини моноліту, які забезпечують мінімальні технологічні втрати блоків природного каменю, тобто максимальний їх вихід для гірничо-геологічних умов Капустянського гранітного кар'єру, м. Новоукраїнка, Кіровоградська обл. (рис. 1).

За розробленою методикою для умов Капустянського гранітного кар'єру (м. Новоукраїнка, Кіровоградська обл.) при  $\delta_k = 62^\circ$ ;  $\gamma = 60^\circ$ ;  $l_k = 1,8$  м;  $l_{\Pi} = 1,95$  м були розраховані оптимальні параметри виділень



монолітного блоку: для  $n_k = 3$  -  $H_y^{оп} = 5,8$  м,  $L_M = 8,5$  м,  $m_M = 1,67$  м;  $n_k = 4$ , -  $H_y^{оп} = 6,0$  м,  $L_M = 9,8$  м,  $m_M = 1,69$  м.



**Рис. 1. Залежність зміни оптимальної висоти уступу й раціональної довжини моноліту (а) від кількості в ньому крутоспадних блокових структур (1 –  $H_y$ ; 2 –  $L_M$ ) та оптимальної висоти уступу від раціональної довжини моноліту і кількості в ньому крутоспадних блокових структур (б) –  $\delta_k = 62^\circ$ ;  $\gamma = 60^\circ$ ;  $l_k = 1,8$  м;  $l_{II} = 1,95$  м**

Для встановлення основних параметрів руйнування блокових гірських порід під час відділення їх від масиву проведемо теоретичні дослідження та виконаємо розрахунки основних величин початкових тисків і деформацій від вибуху комбінованого шпурового (свердловинного) заряду димного порошу за впливу його на породу, ініційованого як у режимі звичайного горіння, так і в режимі вибухового розкладання.

Експериментально підтверджено, що в разі спрацювання димного порошу у свердловині, ініційованого вогнепровідним шнуром (далі – ВПШ) за допомогою традиційного горіння, електрозапальвальним патроном типу (ЕЗП-Б) швидкість горіння становить  $400$  м / с <sup>10</sup>.

<sup>10</sup> Афонин В.Г., Гейман Л.М., Комир В.М. Справочное руководство по взрывным работам в строительстве. Киев : Будівельник, 1974. 369 с.

Для визначення тиску продуктів горіння димного порошу, скористаємось емпіричним виразом<sup>11</sup>:

$$P = \left( \frac{U - A}{b} \right)^{\frac{1}{v}}, \quad (8)$$

де  $U$  – лінійна швидкість горіння порошу (400 м/с);  $A$ ,  $b$ ,  $v$  – константи.

Слід зазначити, що формула (8) може бути застосована для розрахунку величини тиску в інтервалах  $5 \cdot 10^5 \div 2,5 \cdot 10^8$  Па. Підставляючи у формулу (8) значення констант  $A = 1,5 \cdot 10^2$ ,  $b = 0,2 \cdot 10^2$ ,  $v = 0,47$  за лінійної швидкості горіння порошу 400 м/с тиск вибуху в шпурі (свердловині) складатиме:

$$P = \left( \frac{400 - 1,5 \cdot 10^2}{0,2 \cdot 10^2} \right)^{\frac{1}{0,47}} = 21,57 \text{ МПа} .$$

Тоді величину об'єму свердловини за максимального розширення її бокової поверхні продуктами вибуху порошу для різних типів порід можна визначити з виразу<sup>12</sup> за таких параметрів свердловини: початковий радіус свердловини – 0,05 м; висота заряду у свердловині – 1,0 м за атмосферного тиску, рівного 0,1 МПа:

$$V_{\max} = V_0 + \Delta V = \beta(P - P_0) + V_0, \quad (9)$$

де  $V_0 = \pi R_0^2 H_3$  – початковий об'єм свердловини;

$R_0$  – початковий радіус свердловини;

$H_3$  – висота заряду у свердловині;

$P_0$  – атмосферний тиск;  $\beta = 1/K$  – коефіцієнт стискання породи;

$K = \frac{EG}{3(3G - E)}$ , Па – модуль об'ємного стискання;  $E$  – модуль Юнга,

Па;  $G$  – модуль зсуву, Па.

Відомо, що максимальний об'єм порожнини в разі вибуху заряду порошу під час його горіння складає:

$$V_{\max} = \pi R_{\max}^2 H_3,$$

<sup>11</sup> Беляев А.Ф., Мазнеев С.Ф. Зависимость скорости горения дымного пороха от давления. Доклады АН СССР. 1960. Том 131. № 4. С. 887.

<sup>12</sup> Физический энциклопедический словарь. Москва : Сов. энциклопедия, 1965. Том 4. 592 с.

де  $R_{\max}$  – максимальний радіус порожнини в процесі вибуху заряду пороху під час його горіння.

Тоді після перетворення формули (9) отримаємо вираз для розрахунку максимального радіуса шпуру (свердловини), розширеного під час звичайного горіння димного пороху:

$$R_{\max} = R_0 \left[ \frac{(P - P_0)\beta}{\pi R_0^2 H_s} + 1 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (10)$$

а з урахуванням виразу (10) час розширення стінок свердловини можна представити у вигляді<sup>13</sup>:

$$t = \frac{R_0 \left[ (R_{\max} / R_0)^2 - 1 \right]}{\sqrt{\frac{P}{\rho} \left[ 1 - \left( \frac{4P}{C^2 \rho} + 1 \right)^{\frac{1}{4}} \right]}}, \quad (11)$$

де  $C$  – швидкість подовженої хвилі стискання, м/с;  $\rho$  – щільність гірничої породи, кг/м<sup>3</sup>.

З отриманих співвідношень визначимо відносну деформацію стінок свердловини й швидкість деформації в разі звичайного режиму горіння пороху, а саме:

– відносна деформація:

$$\varepsilon = (R_{\max} - R_0) / R_0; \quad (12)$$

– швидкість деформації стінок свердловини:

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon / t \quad (13)$$

Звідси відповідно до роботи<sup>14</sup> можна визначити межу міцності скельної породи на одновісне стискання в процесі динамічного навантаження з урахуванням швидкості її деформації:

<sup>13</sup> Белоконь В.П., Белоконь М.П., Ольховский А.К. Исследование влияния детонационных характеристик ВВ и физико-механических свойств горных пород на продолжительность волны сжатия. *Механика и разрушение горных пород* : Межвед. сб. науч. тр. Киев : Наук. думка, 1974. Вып. 2. С. 227-229.

<sup>14</sup> Кутузов Б.Н., Тарасенко В.П. Физика разрушения горных пород. Москва : Изд-во МГУ, 1975. Часть 2. 190 с.

$$\sigma_{сждин} = \sigma_{сжс} R_0^{\gamma\varepsilon}, \quad (14)$$

де  $\sigma_{стс}$  – межа міцності скельної породи на одновісне стискання в разі статичного навантаження;  $R_0$  – початковий радіус свердловини;  $\gamma$  – тангенс кута нахилу графіка залежності межі міцності скельної породи на одновісне стискання в процесі динамічного навантаження від швидкості деформації.

Розрахунковим шляхом встановлено, що за швидкості деформації стінок шпуру (свердловини)  $10,23 \text{ с}^{-1}$  межа міцності, наприклад, габро-діабазу, склала 338,4 МПа, а межа міцності на розтягання його приблизно на 1/10 менше межі міцності на стискання. Тоді межі міцності на розтягання габро-діабазу за швидкості деформації стінок шпуру (свердловини)  $10,23 \text{ с}^{-1}$  складає 33,84 МПа. Отже, величина тиску продуктів вибуху димного порошу – 21,57 МПа на стінки шпуру (свердловини), ініційованого в режимі звичайного горіння, на 57% нижче межі міцності габро-діабазу на розтягання (33,84 МПа). Звідси випливає, що підривання шпурового (свердловинного) заряду димного порошу в режимі звичайного горіння, здійснюваного в нижньому однорідному напівпросторі, представлене, наприклад, габро-діабазом, не викликає його руйнування, тобто не приведе до утворення радіальних тріщин на стінках свердловини.

Таким чином, масив порід, представлений габро-діабазом, можна зруйнувати вибухом в шпурі (свердловині) зарядом димного порошу, ініційованого в режимі звичайного горіння, тільки в тому випадку, якщо він містить вільну не зафіксовану поверхню у вигляді розкритих мікротріщин і макротріщин або має близько розташовані крутоспадні поверхні оголеної породи.

Представляє особливий інтерес робота шпурового (свердловинного) заряду димного порошу в режимі ініціювання малопотужним детонуючим шнуром (далі – ДШ) системи NONEL зі швидкістю 2000 м/с. Тоді початковий піковий тиск димного порошу можна визначити з виразу:

$$P = \frac{\rho_{вр} D^2}{4}, \quad (15)$$

де  $\rho_{вр}$  – щільність порошу  $10^3 \text{ кг/м}^3$ ;  $D$  – швидкість вибухового розкладання порошу (2000 м/с).

А початковий середній тиск продуктів вибухового розкладання порошу визначимо за формулою:

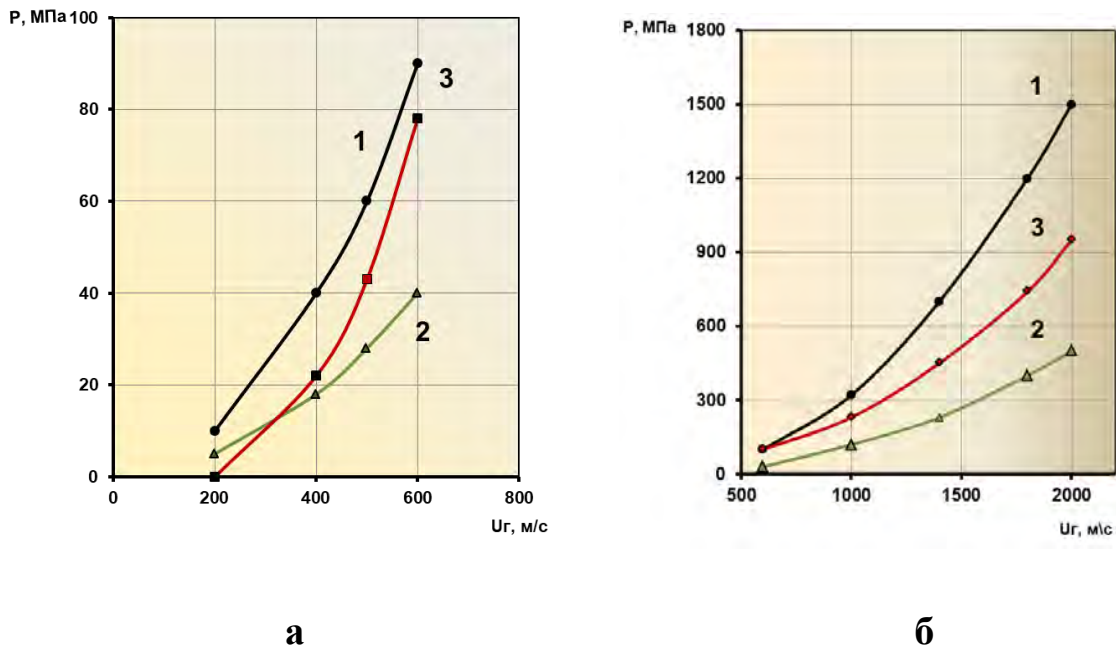
$$P = \frac{\rho_{\text{вп}} D^2}{8}. \quad (16)$$

Тоді максимальний радіус шпуру (свердловини) в процесі вибухового розкладання порошу розраховують за формулою:

$$R_{\text{max}} = R_0 (P / P_k)^{\frac{1}{6}}, \quad (17)$$

де  $P_k$  – критична величина тиску (200 МПа).

Для спрощення розрахунку величини тиску продуктів вибуху димного порошу, який змінюється залежно від швидкості його вибухового перетворення, побудовані номограми, представлені на рис. 2.



**Рис. 2. Номограми для розрахунку показників тиску продуктів вибуху димного порошу в залежності від швидкості його горіння (вибухового розкладання)**

а) – швидкість горіння димного порошу від 0 до 600 м/с;  
 б) – швидкість горіння димного порошу от 600 до 2 000 м/с; 1 – тиск продуктів горіння димного порошу, розрахованого за формулою (1); 2 – початковий середній тиск продуктів вибухового розкладання димного порошу, розрахованого за формулою (16); 3 – початковий піковий тиск продуктів вибухового розкладання димного порошу, розрахованого за формулою (15)

Аналіз розрахунків, виконаних за наведеними формулами, дозволяє встановити, що максимальний радіус свердловини під час руйнування, наприклад, габро-діабазів під час вибуху заряду порошу в режимі вибухового перетворення становить 0,0654, а час розширення стінок свердловини до максимальних значень її радіусу має величину, рівну  $6,992 \cdot 10^{-4}$  с або 0,6992 мс. Відносна деформація стінок шпуру (свердловини) під час вибуху порошу в режимі вибухового розкладання дорівнює  $\varepsilon = 0,308$ .

Швидкість деформації стінок свердловини для таких умов підривання має величину  $\dot{\varepsilon} = 440,5 \text{ с}^{-1}$ . Звідси випливає, що за швидкості деформації стінок свердловини  $440,5 \text{ с}^{-1}$  межа міцності, наприклад, габро-діабазу на стискання становить 3 102,9 МПа. Отже, межа міцності габро-діабазу на розтягнення за швидкості деформації, рівній  $440,5 \text{ с}^{-1}$ , складає приблизно 310, 29 МПа.

Таким чином, урахувавши результати розрахунків за наведеними вище формулами (14) і (15), доведено, що величина тиску продуктів вибуху димного порошу, ініційованого в режимі вибухового розкладання, менше межі міцності габро-діабазу на одновісне стискання в розглянутих умовах навантаження. У зв'язку із цим можна стверджувати, що ініціювання шпурового (свердловинного) заряду порошу в режимі вибухового розкладання, яке здійснено в нижньому однорідному напівпросторі, представленому монолітним габро-діабазом, не розповсюджує дистракційного впливу під час руйнування породи. Цілком очевидно, що руйнування породи відбуватиметься тільки шляхом розвитку радіальних тріщин.

Якщо врахувати, що за наявності близько розташованої крутоспадної поверхні оголеної породи (наприклад, поздовжнього укусу уступу) тангенціальні напруження розтягання по лінії розташування шпурів (свердловин) має приблизно в 1,5–2,0 рази більшу величину, ніж в перпендикулярному напрямі<sup>15</sup>, то це не викликає сумнівів у відділенні моноліту габро-діабазу від масиву без появи в ньому порушеної структури, викликані дією вибуху заряду димного порошу, ініційованого в режимі вибухового розкладання.

Отримані результати розрахунків дають підставу вважати, що наведені раніше висловлювання про деструктивний вплив вибухових навантажень на блоки-заготовки роп-ручейських габро-діабазів не відповідають дійсності незалежно від застосовуваного способу ініціювання шпурових (свердловинних) зарядів димного порошу.

---

<sup>15</sup> Ито И., Сасса К., Танимото Т. Механизм разрушения горных пород под действием взрыва. *Дзайрё*. 1973. Том. 20. С. 203–206.

Для обґрунтування режимів підривання та раціональних параметрів нової ресурсозберігаючої технології вибухового відділення моноліту природного каменю від скельного масиву з використанням комбінованого шпурового заряду димного пороху були проведені експерименти з розколювання піщано-цементних блоків у полігонних умовах<sup>16</sup>. Відповідно до методики досліджень блокові моделі виготовлялись прямокутної форми розміром 400x300x200 мм. Піщано-цементна суміш готувалась в пропорції: кварцовий пісок + цемент марки М400 = 1:1 з додаванням 10% води. Згідно із чинними ДСТУ були досліджені фізико-механічні властивості матеріалу моделей і після обробки результатів випробувань визначені середні їх показники, які мають такі значення: щільність – 1 920 кг/м<sup>3</sup>, міцність на одновісне стискання – 20,6 МПа, швидкість подовженої хвилі – 3 150 м/с, а також середньо квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації величин, котрі не перевищили 10%.

У процесі формування моделей уздовж осі перетину в напрямі передбачуваного розколювання на рівній відстані один від одного (40 мм) формувались вибухові порожнини – шпури діаметром 12 мм на глибину 2/3 висоти моделі, які змінювались залежно від фізико-механічних характеристик матеріалу моделі. Водночас решта масиву моделі повинна мати достатній опір вибуховим газам, що розширюються. У підготовлених вибухових порожнинах формувались комбіновані заряди димного пороху з використанням детонуючого шнура (ДШ). Заряд димного пороху закладали в патрон спеціальної конструкції, що має подовжню кільцеву виїмку, в яку вкладали нитку ДШ діаметром 3 мм. Детонуючий шнур виготовляли з поліхлорвінілового хвилеводу з внутрішнім діаметром 2 мм із пресованим у його середині порошковим тенем щільністю 1 200 кг/м<sup>3</sup>. Загальна маса димного пороху в зарядах всіх серій експериментів становила 20,0 г. Для підриву зарядів пороху й ДШ формували бойовики з розміщенням у паперові гільзи діаметром 3–2 мм чистого тону масою 80 мг з ініціатором, виготовленим із ніхромового містка з крапелькою високобризантного ВР (азиду свинцю) масою 10 мг. Ініціювання зарядів здійснювалось з уповільненням, починаючи з ДШ, а потім заряди димного пороху. Схема моделі й конструкція комбінованого заряду димного пороху наведені на рис. 3, а, б.

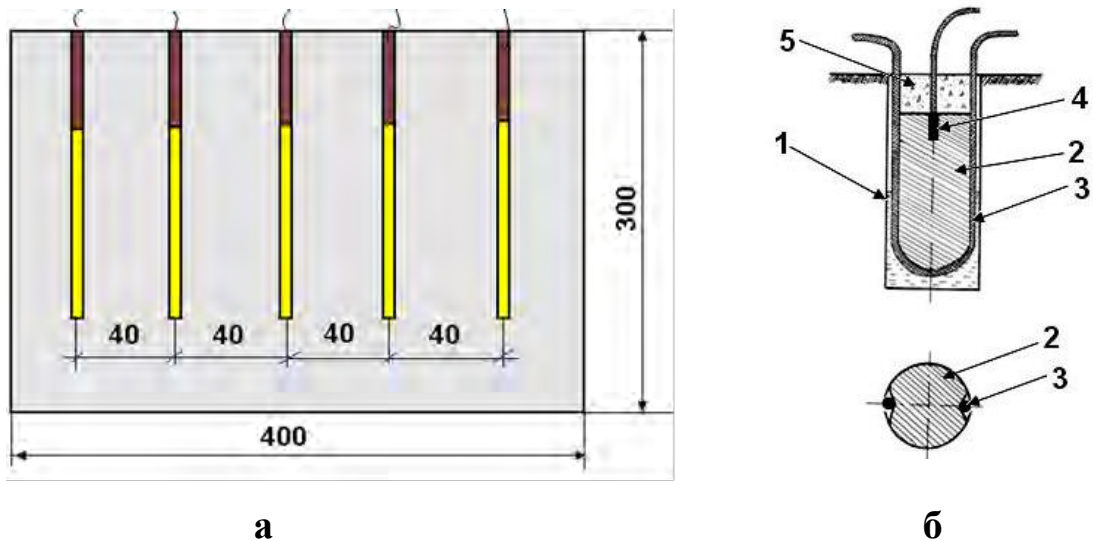
Результати експериментальних вибухів наведено на рис. 4. На ньому представлений зовнішній вигляд моделі, розколотої описаним

---

<sup>16</sup> Ищенко К.С., Кратковский И.Л. Исследование эффективности нового способа отделения монолитов от скального массива энергией взрыва. *Геотехническая механика* : Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2012. № 104. С. 31–41.

вище варіантом нового способу відділення монолітів природного каменю від скельного масиву.

Критерієм оцінки якості розколювання була прийнята шорсткість, яка характеризується середньою величиною всіх опуклостей і вм'ятин в обох новоутворених поверхнях. Шорсткість вимірювали за двома паралельними слідами, утвореними шпурами, лініями, віддаленими від країв новоутвореної поверхні на відстані 50 мм.



**Рис. 3. Схема моделі й конструкція комбінованого шпурового заряду димного пороху**

*a* – схема моделі; *б* – конструкція заряду; 1 – шпур; 2 – заряд димного пороху; 3 – ДШ; 4 – патрон-бойовик; 5 – набивка



**Рис. 4. Зовнішній вигляд піщано-цементного блоку, розколотого комбінованим зарядом димного пороху**



Середнє значення цього показника для п'яти шпурів склало 2,9 мм, тобто істотних змін шорсткості не зафіксовано. Отже, результати експериментів підтвердили ефективність нової конструкції комбінованого заряду димного пороху для розколювання твердого середовища блокової будови.

#### **4. Розробка й обґрунтування раціональних технологічних параметрів ресурсозберігаючої технології відділення природного каменю від моноліту енергією вибуху**

Як показує практика, у процесі відділення монолітів у кар'єрі навіть за правильної оцінки тріщинуватості масиву й мікроорієнтації мінералів вихід великих блоків із гірничої маси практично рідко перевищує 25 ... 30%. Водночас у процесі організації роботи під час видобутку каменю в кар'єрі мають велике значення дані анізотропії гірського масиву, яке слід враховувати під час вибору способів і напрямку розробки. Оцінка анізотропії масивів, що властива гранітам, як відзначають у своїх роботах Е.І Єфремов та І.Л. Кратковський<sup>17 18 19</sup>, полегшує відділення каменю від масиву за встановленим орієнтованим напрямом щодо сторін Світу (Північ – Південь).

Урахування впливу анізотропії, яка властива родовищам гранітів, під час відділення природного каменю з масиву міцних гірських порід складної будови стало основою для розробки ресурсозберігаючої технології з використанням шпурових і свердловинних зарядів димного пороху, що розколюють. Вона реалізована в розробленому нами новому способі вибухового відділення монолітів від скельного масиву, пріоритет якого захищений патентом України<sup>20</sup> й із використанням якого можна розколювати як монолітну, так і тріщинувату породу в площині розташування орієнтованих шпурів.

Запропонований спосіб ведення буропідривних робіт на гранітних кар'єрах блокового каменю базується на підвищенні точності визначення напрямку орієнтування площини вертикального розколу шляхом встановлення величини азимута кута між напрямом сформованої системи тріщин від вибуху одиночного заряду вибухової

---

<sup>17</sup> Єфремов Э.И., Петренко В.Д., Рева Н.П., Кратковский И.Л. Механика взрывного разрушения пород различной структуры. Киев : Наук. думка, 1984. 192 с.

<sup>18</sup> Кратковский И.Л. Механизм образования вертикальных трещин в гранитных массивах. *Геотехническая механика* : Межвед. сб. науч.тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2001. Вып. 27. С. 169–174.

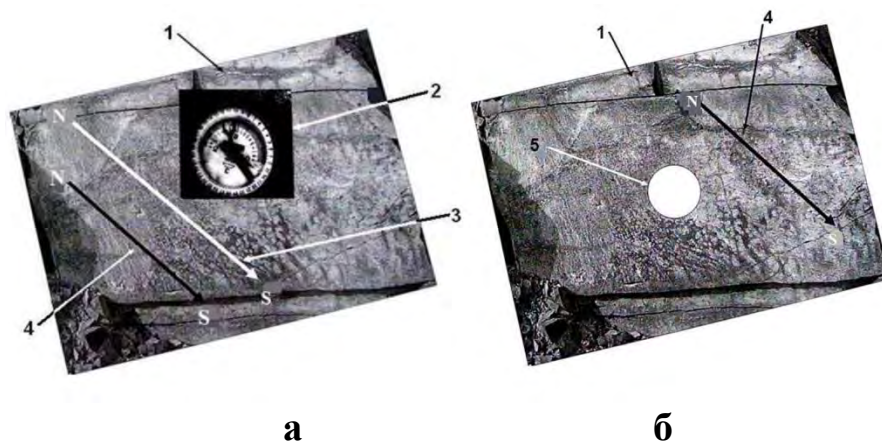
<sup>19</sup> Єфремов Э.И., Кратковский И.Л. Взрывной способ добычи облицовочных гранитов с учетом особенностей их структуры. *Форум гірників – 2009* : Матеріали міжнародної конференції. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2009. Том № 2. С. 19–23.

<sup>20</sup> Спосіб вибухового відділення моноліту від скельного масиву : пат. 98546 Україна / К.С. Іщенко. № а200812446 ; заявл. 23.10.2008 ; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10.

речовини в масиві блоку з напрямом лінії простягання Північ – Південь (N – S) і підриванням в один прийом з уповільненням, починаючи з нитки детонуючого шнура, розміщеного в подовжній кільцевій виїмці в патронах спеціальної конструкції, а потім зарядів димного пороху в шпурах, пробурених у напрямі лінії найкращого вертикального розколу на відстані між ними, яка дорівнює не більше двох радіусів тріщиноутворювання.

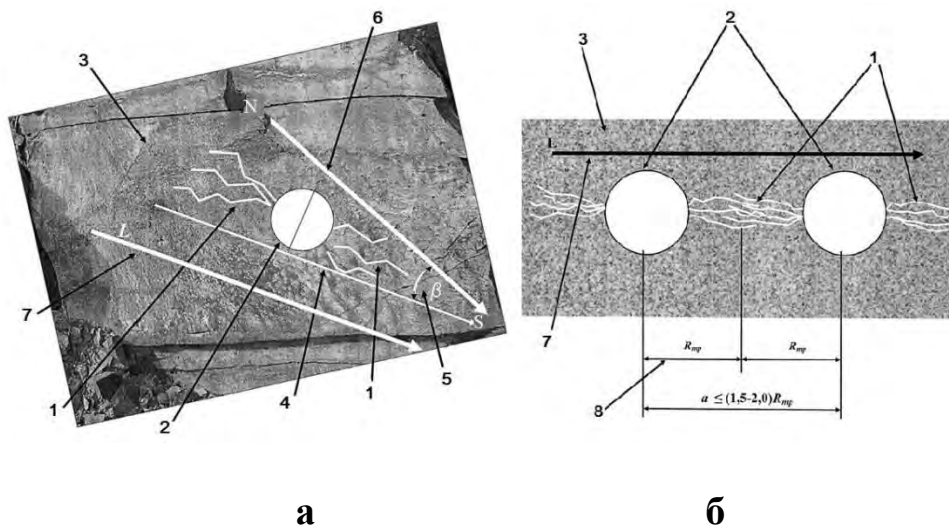
Для відділення блоку на підготовленому уступі масиву скельних гірських порід (рис. 5, а) на його майданчику встановлюють гірничий компас (2) і орієнтують його відповідно до сторін Світу – лінії “N – S” (3). Далі на орієнтований блок гірських порід (1) наносять «слід» (4) лінії (3) “N – S”. Потім на блоці гірських порід (рис. 5, б), що має нанесений «слід» (4) лінії “N – S”, перфоратором бурять одинокий шпур (5) діаметром 43 мм на глибину, рівну 0,5–0,7 висоти блоку, заряджають штатною ВР, наприклад, амонітом 6ЖВ, і підривають.

За системою сформованих тріщин (рис. 6, а, 1) від вибуху одинокого шпурового заряду (2) на блоці (3) визначають напрям передбачуваної вертикальної площини розколу (4) і кут  $\beta$  (5) – азимут між цією вертикальною площиною (4) і лінією “N – S” (6), «слід» L (7), якій переноситься на відокремлювану поверхню блоку (3) масиву гірських порід. Радіус тріщиноутворювання (1) на блоці масиву гірських порід (3) заміряють мірною лінійкою від центру заряду в шпурі (2) до межі зони схлопування сформованих радіальних тріщин (1).



**Рис. 5. Вид частини блоку на уступі масиву гірських порід, орієнтований за допомогою гірничого компаса щодо частин Світу (а) і розміщення на ньому одинокого шпуру (б)**

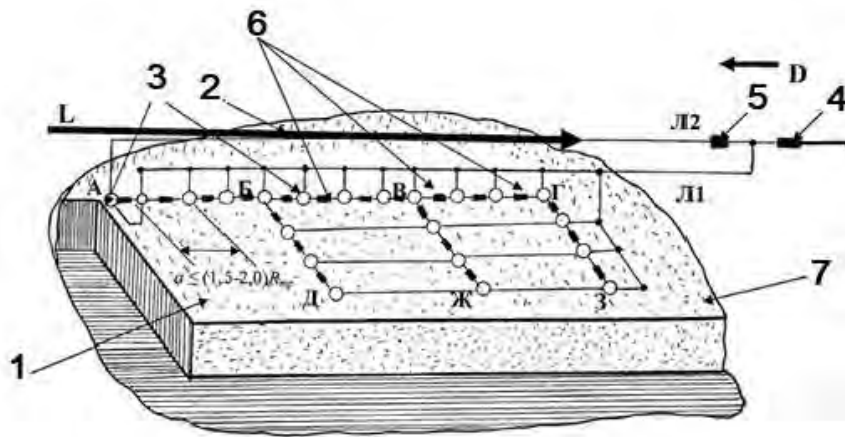
1 – блок гірських порід; 2 – гірничий компас; 3 – лінія частин Світу «N- S»; 4 – нанесений слід на блоці лінії «N- S»; 5 – одинокий шпур



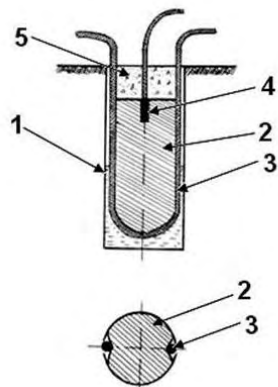
**Рис. 6. Схема до визначення орієнтації систем сформованих тріщин від вибуху одинокого шпурового заряду ВР (а) та обґрунтуванню раціональної відстані між шпурами на блоці з відділення гірських порід (б)**

1 – мережа сформованих радіальних тріщин; 2 – пробурені шпури на блоці; 3 – блок гірничих порід; 4 – напрям найкращого вертикального розколу; 5 – кут  $\beta$  – азимут між цією вертикальною площиною розколу; 6 – лінія напряму частин Земної кулі «N – S»; 7 – нанесений слід L на блоці лінії «N – S»; 8 – радіус розповсюдження радіальних тріщин

Реалізація способу проводиться в такій послідовності (рис. 7, а). У скельному масиві гірських порід (1) на підготовленому для відділення блоці паралельно лінії передбачуваної вертикальної площини розколу L (2) проводять розмітку шпурів (3) на відстані між ними, рівній лінії найменшого опору (далі – Л.Н.С.) –  $a \leq (1,5-2,0) R_{кр}$ , і на довжину блоку, що відділяється. Після їх розмітки перфоратором бурять шпури (3) діаметром 43 мм і глибиною, рівній висоті блоку.



*a*



*б*



*в*

**Рис. 7. Технологічна схема відділення скельної породи від масиву гірських порід шпуровими зарядами димного пороху (*a*), конструкція комбінованого шпурового заряду димного пороху (*б*) і зовнішній вигляд блоку, розколотий дією комбінованого шпурового заряду димного пороху (*в*)**

*a* – технологія відділення блоку від скельного масиву: 1 – блок скельного масиву гірських порід; 2 – слід лінії передбачуваного вертикального розколу; 3 – шпури; 4 – капсуль-детонатор миттєвої дії; 5 – проміжний уповільнювач; 6 – уповільнювачі між шпурами; 7 – блок, що відділяється; *б* – конструкція комбінованого шпурового заряду димного пороху: 1 – шпур; 2 – заряд димного пороху; 3 – ДШ; 4 – патрон-бойовик; 5 – набивка; *в* – вид блоку, розколотий дією комбінованого шпурового заряду димного пороху

Пробурені шпури (3) спочатку заливають водою до рівня 0,5 їхньої глибини, а потім встановлюють патрони спеціальної конструкції (рис. 7, б) із димним порохом, що мають по периметру подовжню кільцеву виїмку з укладеною в неї ниткою детонуючого шнура (ДШ), який орієнтують так, щоб він збігався зі «слідом» лінії L (2) передбачуваної площини вертикального розколу, сформованою системою спрямованих тріщин у скельному масиві гірських порід, а гирло шпуру герметизують набивкою, наприклад, із бурового штибу.

Виведені на поверхню шпурів кінці ДШ, з'єднані з патроном-бойовиком патрону спеціальної конструкції, спорядженого димним порохом і ДШ, покладеного в подовжню кільцеву виїмку (рис.7, б), з'єднують їх із відповідною ниткою магістрального детонуючого шнура – лінією Л1 (рис. 7, а), яку ініціюють капсулем-детонатором миттєвої дії (4).

Сформовані заряди комутують у групи й одночасно підривають в один прийом з уповільненням у кожній групі зарядів, починаючи з детонуючого шнура – лінії Л1, покладеної в подовжню кільцеву виїмку патрона із димним порохом для формування спрямованої мережі тріщин, а потім заряди димного пороху в патронах спеціальної конструкції підривають у шпурах (3) по лінії Л2 – А-Б і В-Г через проміжний уповільнювач (5) з інтервалом, рівним 200–300 мс, і в останню чергу – заряди в шпурах по лінії Б-Д, В-Ж, Г-З через уповільнювачі, встановлені між шпурами (6) з інтервалом, рівним 60–80 мс, починаючи зі шпурових зарядів у точках Б, В і Г в напрямі точок Д, Ж і З.

Після подачі ініціюючого імпульсу від капсуля-детонатора (4) по ДШ формується фронт детонаційної хвилі D, який рухається до шпурів (3), а потім по петлі, покладеної у виїмку патрона спеціальної конструкції з димним порохом (рис. 7, б), і, впливаючи на стінки шпурів (3), орієнтовані в напрямі площині передбачуваного розколу (2), створюють мережу тріщин (рис. 6) радіусом, рівним радіусу тріщиноутворювання  $R_{тр}$ , а потім з уповільненням 200–300 мс через лінійний уповільнювач (5) ініціюються заряди димного пороху патроном-бойовиком у шпурах (3) по лінії А-Б і В-Г, і в останню чергу шпурові заряди димного пороху в шпурах (3) по лінії Б-Д, В-Ж, Г-З, використовуючи проміжні уповільнювачі (6) між шпурами з інтервалом, рівним 60–80 мс. Після займання пороху в шпурах (3) формується надлишковий тиск вибухових газів. Газоподібні продукти згоряння пороху, впливаючи на стінки шпурів (3) і проникаючи у

сформовану мережу тріщин (рис. 6), виконують роботу з відділення та переміщення моноліту (7) від масиву скельних порід (рис. 6, а). Відокремлений таким чином монолітний блок (7) від масиву (1) за допомогою вантажно-транспортних засобів перевозиться в розпилювальний цех, де проводять розпилювання його за категоріями й здійснюють доставку споживачеві. Зовнішній вигляд блоку, розколотого дією шпурових зарядів димного пороху, наведено на рис. 6, в.

Промислові випробування з обґрунтування раціональних параметрів ресурсозберігаючої технології відділення природного каменю з використанням комбінованих шпурових і свердловинних зарядів димного пороху реалізовані в новому способі вибухового відділення монолітів від скельного масиву, проведені на кар'єрах будівельних матеріалів.

Мета промислових експериментів – оцінка якості відділення моноліту від масиву вибухом комбінованого шпурового заряду димного пороху.

Як об'єкт для промислових випробувань обрані експериментальні ділянки на Янцевському родовищі сірих гранітів (Запорізька обл.) і Капустянському родовищі (Капустянський гранітний кар'єр, м. Новоукраїнка, Кіровоградська обл.). Породи на кар'єрі представлені сіро-червоним, а також насиченим червоним гранітом крупнозернистої структури міцністю  $f = 12\text{--}14$  балів за шкалою проф. М.М. Протод'яконова, що має у своїй товщі чітко виражені червоні кристали мікрокліну. Питома вага граніту становить  $2\ 700\ \text{кг/м}^3$  з водонасиченням близько 0,22%. Володіє високою міцністю на стискання та вигин. Загальний вигляд гранітного кар'єру представлений на рис. 8.

Для обґрунтування параметрів БПР із відділення блоку від масиву скельних гірських порід на підготовленому майданчику встановлюють гірський компас та орієнтують згідно зі сторонами Земної кулі – лінії “N – S”. На орієнтованому блоці гірських порід наносять «слід» лінії “N – S”. Потім на підготовленому блоці (рис. 5, а), що має нанесений «слід» лінії “N – S”, ручним перфоратором бурять одинокий шпур діаметром 43 мм на глибину, рівну 0,5–0,7 висоти блоку. Шпур заряджають штатною ВР, наприклад, амонітом № 6ЖВ, і підривають.



**Рис. 8. Загальний вид Капустянського гранітного кар'єру, м. Новоукраїнка, Кіровоградська область, Україна**

За системою сформованих тріщин визначають напрям і кут – азимут між передбачуваною вертикальною площиною розколу й лінією “N – S”, «слід», якій переноситься на відокремлювану поверхню масиву гірських порід і радіус тріщиноутворювання. Радіус тріщиноутворювання на блоці масиву гірських порід заміряють мірною лінійкою від центру заряду в шпурі до межі зони схлопування сформованих радіальних тріщин.

Далі на блоці паралельно лінії передбачуваної вертикальної площини розколу  $L$  проводять розмітку шпурів на відстані між ними, рівній лінії найменшого опору – Л.Н.С. –  $a \leq (1,5-2,0) R_{тр}$ , де:  $R_{тр}$  – радіус тріщиноутворювання (рис. 6, б).

Після розмітки шпурів на блоці згідно з розробленими параметрами БПР із відділення блоку від масиву гірських порід буровим верстатом фірми “Piligrini” (Італія) бурять шпури діаметром 43 мм і глибиною, рівною висоті блоку. Спочатку пробурені шпури заповнюють водою до рівня 0,5 їхньої глибини, а потім встановлюють патрони спеціальної конструкції (рис. 7. б) із димним порохом, які мають по периметру подовжню кільцеву виїмку з укладеними в неї нитками детонуючого шнура (ДШ) та орієнтують їх так, щоб кільцева виїмка з укладеним в неї ДШ збігалася зі

«слідом» лінії  $L$  передбачуваної площини вертикального розколу, сформованої системою спрямованих тріщин у скельному масиві гірських порід. Устя підготовлених шпурів герметизують набивкою з бурового штибу. Далі виведені на поверхню шпурів кінці ДШ від патрона спеціальної конструкції, спорядженого димним порохом і ДШ із патроном-бойовиком, з'єднують їх із відповідною ниткою магістрального детонуючого шнура – лінією Л1 – (рис. 3, *a*), яку ініціюють капсулем-детонатором миттєвої дії. Сформовані заряди комутують у групи й одночасно підривають в один прийом з уповільненням у кожній групі зарядів, починаючи з детонуючого шнура – лінії Л1, укладеної в подовжню кільцеву виїмку патрона із димним порохом для формування спрямованої мережі тріщин, а потім комбіновані заряди димного пороху в патронах спеціальної конструкції, ініційовані в шпурах по лінії Л2 – А-Б і В-Г з уповільненням 200–300 мс, і в останню чергу заряди в шпурах по лінії Б-Д, В-Ж, Г-З, з'єднані через уповільнювачі між шпурами, з інтервалом, рівним 60–80 мс, починаючи зі шпурових зарядів у точках Б, В і Г в напрямі точок Д, Ж і З.

Якість відділення моноліту від гірського масиву оцінювалась за шорсткістю поверхні блоку, яка характеризується середньою величиною всіх опуклостей і вгнутостей в обох новостворених поверхнях, показники яких не перевищили 2,9 мм.

Аналогічні промислові випробування розробленої технології проведені на дільниці Покостівського родовища гранодіоритів (північно-східній ділянці) ПМП «Граніт» (с. Покостівка Житомирського району, Житомирська область).

Породи родовища представлені гранодіоритами сірого кольору рівномірної та середньозернистої структури, незначної тріщинуватості, основні фізико-механічні характеристики якої наведені в табл. 1.

Ураховуючи гірничо-геологічні умови розробки родовища, потужність покладу й фізико-механічні властивості корисної копалини й розкривних порід, технологічні особливості видобутку блочного каменю, а також досвід розробки подібних родовищ, прийнята відкрита транспортна система розробки родовища із зовнішнім розміщенням розкривних порід.



**Фізико-механічні характеристики гранодіориту**

Показники	Значення показників властивостей гранодіориту	
	Незмінені дією повітря	Змінені дією повітря
Природна щільність, г/см <sup>3</sup>	2,93–3,14	2,94–3,1
Середня щільність, г/см <sup>3</sup>	2,91–3,09	2,93–3,03
Пористість, %	0,32–1,85	0,95–2,87
Насичення вологою, %	0,05–0,2	0,42–0,82
Межа міцності на стискання, кгс/см <sup>2</sup>		
в сухому стані	711–2 390	585–1 166
насичена вологою	1 196–2 082	1 027–1 429
після 50 циклів заморозки	793–1 798	1 087–1 417
Коефіцієнт зниження міцності в процесі насичення вологою	0,92–0,98	0,89–0,96
Коефіцієнт морозостійкості	0,81–0,95	0,65–0,92
Стирання, г/см <sup>3</sup>	0,44–0,50	0,40–0,49
Коефіцієнт міцності породи, <i>f</i>	10–14	10–14
Тип породи за морозостійкістю 2,93–3,14	F-50	F-50

Технологічна схема видобувних робіт передбачає отримання блоків за одно- або двоступеневою схемою:

- за одноступеневою схемою – відділення монолітів від масиву й поділ на блоки виконується безпосередньо у вибої;
- за двоступеневою схемою – відділення монолітів від масиву, відкидання їх на підшву з подальшим переміщенням і різанням їх на блоки потрібних розмірів.

Видобуток блокового каменю в кар'єрі проводиться уступаами з послідовним відпрацюванням кожного уступу зверху вниз. Вибір схеми відділення блоків і висота уступів визначається характером тріщинуватості масиву й технічними параметрами видобувного обладнання, які не повинні перевищувати допустимих значень,

визначених у «Правилах охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом» (НПАОП 0.00-1.24-10). Висота видобувного уступу не перевищує 6,0 м, а підуступу 3,0 м. Висота підуступів визначається також характером тріщинуватості масиву.

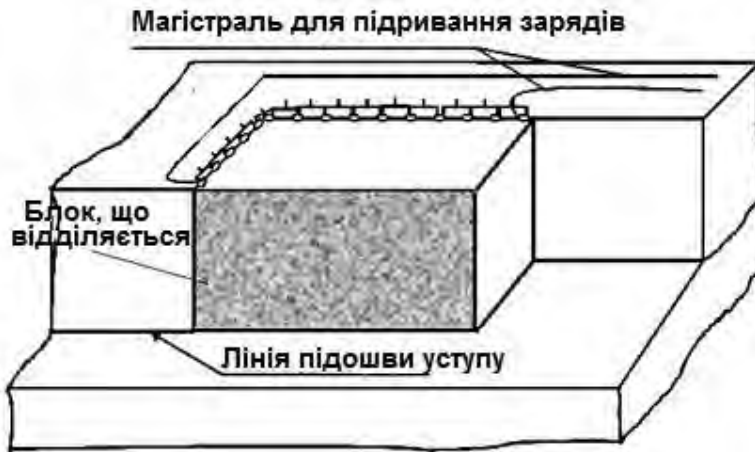
Вертикальне транспортування блоків здійснюється самохідним стріловидним краном, а перевезення блоків на склад і відходів від видобутку блоків у відвал – автотранспортом.

Відділення моноліту від масиву в кар'єрі проводиться за допомогою буропідривних робіт згідно з паспортами БПР на вибух, які розроблені й узгоджені фахівцями-підривниками Приватного акціонерного товариства «Укragровибухпром», Черкаського технологічного університету Міністерства освіти і науки України й Інституту геотехнічної механіки Національної академії наук України відповідно до Типового проєкту ведення підривних робіт.

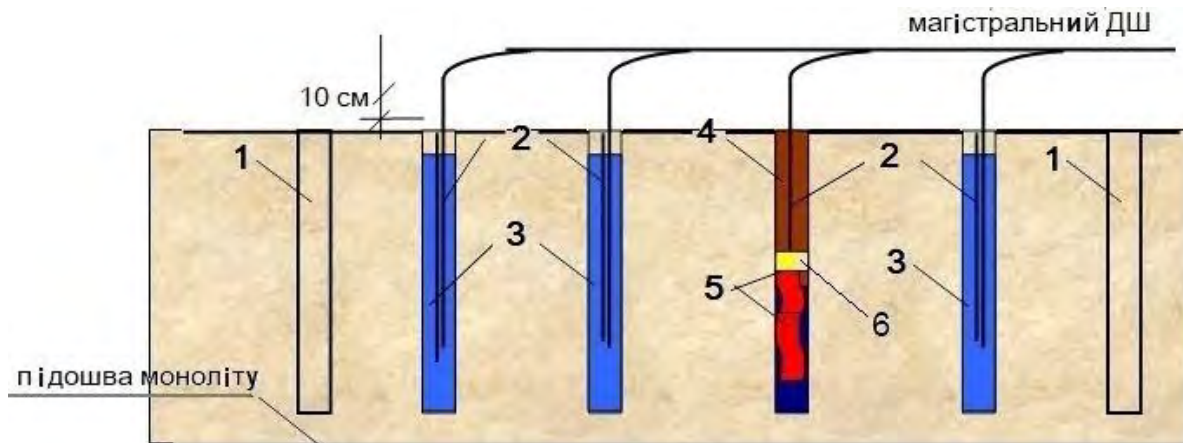
Відповідно до технологічної схеми відпрацювання родовища для буріння шпурів на блоці діаметром 43 мм використовуються пневмоперфоратори типу ПР-50. Відстань між шпурами становить 0,4–0,7 м. Для зменшення відходів і збільшення виходу блокового каменю під час відділення монолітів від масиву формують чотири оголені площини. На поверхні вибою та майданчику на уступі формують дві вільні (оголені) площини, третя площина створюється шляхом випередження вибою на уступах або природних вертикальних тріщинах.

Залежно від наявності в масиві природних тріщин або штучно створених щілин для отримання заданих габаритів моноліту – довжиною (а) – 1,5–10 м; шириною (b) – 1–4 м і висотою (h) – 1–6 м – застосовують два способи відділення моноліту: гідровибух і конструкції шпурових зарядів, сформованих із патронів димного або інших марок пороху.

Спосіб гідропідривання являє собою підрив детонуючого шнура (ДШ), який розташований у шпурах, заповнених водою. ДШ у шпурі розміщують в одну-три нитки. Гідровибух найчастіше застосовують для розколювання великих монолітних блоків, рідше – для відділення моноліту, за умови, коли присутні або сформовані чотири оголені площини з урахуванням природної тріщинуватості. Схема блоку з розміщеними на ньому шпурами та їх конструкції наведені на рис. 9 і рис. 10.



**Рис. 9. Технологічна схема відділення блоку й розміщення зарядів на уступі**



**Рис. 10. Схема підриву зарядів у разі гідровибухового способу відділення монолітів від масиву та їх конструкції**

1 – холостий шпур; 2 – відрізки ДШ; 3 – вода; 4 – набивка;  
5 – ниті ДШ; 6 – пиж

Слід урахувати, що під час проведення гідропідривання з використанням ДШ у шпурах, які заповнюють водою, гідровибуху в разі бризантного впливу на масив, що знаходиться в контакті із зарядом, у шарах породи утворюється мережа радіальних мікротріщин, що знижують якість блоків.

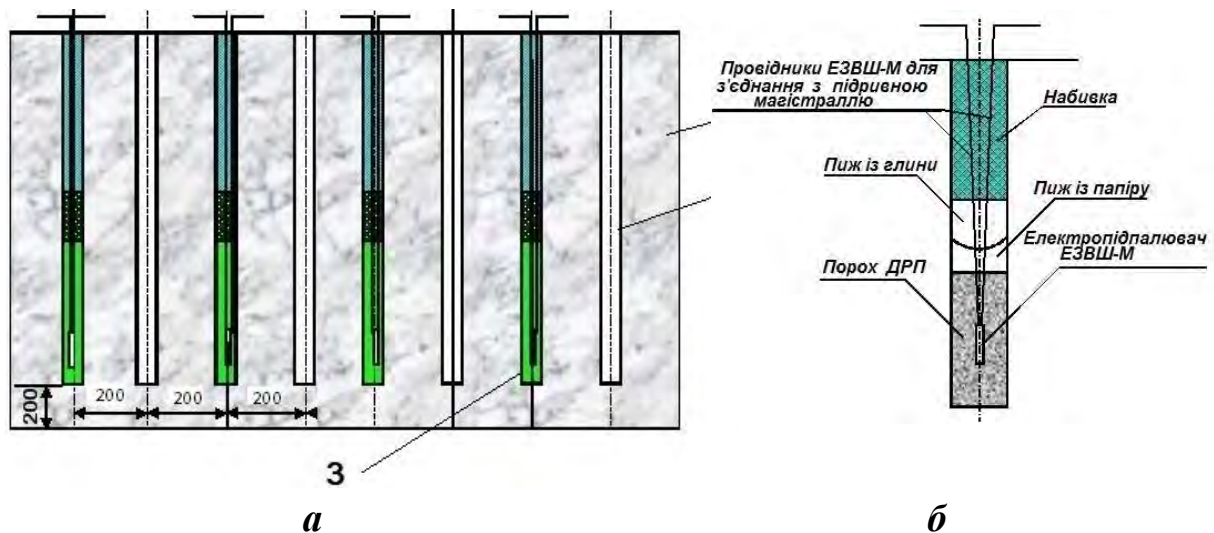
Для зниження негативного впливу гідровибуху на відокремлюваний блок із масиву необхідно дотримуватися таких

вимог: діаметр шпурів повинен бути в межах 32 мм; буріння шпурів слід проводити в один ряд строго вертикально щодо лінії відриву; моноліт, який відокремлюється, повинен мати не менше чотирьох оголених площин і горизонтальну тріщину по підшві; для зменшення відколів на кутах моноліту, який відокремлюється, крайні шпури залишають холостими, створюючи екран для зменшення негативного впливу хвилі напружень. Для зрушення моноліту між гідрозарядами в пробурених 2–3-х шпурах розміщують порохові заряди, які ініціюють ДШ разом із гідрозарядами від однієї вибухової мережі.

Для зменшення бризантної дії вибуху в масивах гірських порід, що розробляється на родовищі гранодіоритів і має розвинену мережу тріщин, і мінімізації утворення в блоках додаткової мережі тріщин використовують комбіновані заряди димного пороху марки ДРП, які формують у циліндрах, виготовлених із щільного паперу діаметром, меншим за діаметр шпуру. У підготовленому заряді димного пороху розміщують патрон-бойовик із відрізка ДШ, який з одного боку зав'язують у вузол. Потім вузол ДШ присипають порохом, а верхній кінець патрона зв'язують шпагатом. Патрони досилають у шпури дерев'яним забійником, а патрон-бойовик розташовують зверху над зарядом. Залежно від розміщення природних блокових структур і розмірів моноліту масу зарядів підбирають за результатами експериментальних вибухів, керуючись об'ємом моноліту й питомою витратою пороху, яка становить 150–300 г на 1 м<sup>3</sup> блоку. Схема розміщення шпурів на виділеному блоці й конструкція заряду димного пороху наведено на рис. 11, а, б.

## **ВИСНОВКИ**

Результати експериментальних і теоретичних досліджень та апробації в промислових умовах Янцевського родовища сірих гранітів (Запорізька обл.), на Капустянському гранітному кар'єрі блокового каменю (Кіровоградська обл.), Покостівському родовищі гранодіоритів (північно-східна ділянка) ПМП «Граніт» (Житомирська обл.) розробленої ресурсозберігаючої технології, яка реалізована відповідно до способу відділення монолітів природного каменю від масиву вибухом комбінованого заряду димного пороху спеціальної конструкції в шпурах, дозволили встановити таке:



**Рис. 11. Схема розташування шпурів на блоці, що відділяється, і конструкція заряду димного порошу**

*а* – схема розміщення шпурів на блоці, що відділяється від масиву гірських порід: 1 – блок, що відділяється; 2 – холостий шпур; 3 – комбінований (розосереджений) заряд димного порошу; *б* – конструкція комбінованого (розосередженого) заряду димного порошу

– згідно з побудованою картограмою тріщинуватости фронтальної площини моноліту й виявлених слідів на його фронтальній (поздовжній) площині встановлено напрям системи тріщин і лінію їх падіння, що має мінімальну відстань між тріщинами, тобто максимально розповсюджені в масиві;

– за даними поширення систем тріщин у блоковому масиві проведено обґрунтування основних технологічних параметрів розробки: висота уступу, геометричні параметри моноліту згідно зі структурними особливостями гранітного масиву;

– відповідно до розробленої схеми й методики розрахунку визначена висота й довжина моноліту у вигляді чисельних значень кількості пологоспадних і крутоспадних блокових структур, розділених системою тріщин, що дозволило розрахувати параметри скоригованої технології відділення моноліту від скельного масиву;

– відповідно до розробленого нового способу вибухового відділення моноліту від скельного масиву обґрунтовані режими підривання та технологічні параметри комбінованого шпурового (свердловинного) заряду з розколювання піщано-цементних блоків енергією вибуху в полігонних умовах;

– впровадження запропонованої нової скоригованої технології відділення блоків природного каменю від масиву з використанням конструкції комбінованого шпурового (свердловинного) заряду димного порошу на гранітних кар'єрах природного каменю з урахуванням тріщинно-тектонічної будови гірських порід, орієнтованих у напрямі площині найкращого вертикального розколу, дозволить знизити обсяг буріння шпурів з 9,0 до 4,0 п.м./м<sup>3</sup> і збільшити вихід товарної (готової) продукції на 40%.

## **АНОТАЦІЯ**

Запропоновано нові підходи до збільшення виходу товарних блоків із гірського масиву шляхом мінімізації технологічних втрат блокової продукції на родовищах зі складним заляганням природних блокових структур, обмежених системами круто- й пологоспадних тріщин, що сприятиме підвищенню продуктивності й зниженню собівартості відділення монолітів від масиву шляхом обґрунтування оптимальної висоти видобувного уступу. Розроблено методику, згідно з якою проведено теоретичні дослідження щодо забезпечення максимального виходу товарних блоків із масиву, розраховані основні величини початкових тисків і деформацій від дії вибуху шпурового (свердловинного) заряду димного порошу. Експериментально в полігонних умовах дано оцінку ефективності роботи комбінованого шпурового заряду димного порошу з розколювання піщано-цементних блоків. Методами фотопланіметрії в промислових умовах Капустянського гранітного кар'єру, м Новоукраїнка, Кіровоградська обл. отримано картограму тріщинуватості фронтальної площини моноліту, за результатами якої проведено розрахунки раціональної висоти й довжини моноліту на уступі блоку з урахуванням розташування та характеристики тріщинуватості гранітного масиву. Використання запропонованої схеми й методики розрахунку, в якій висота й довжина моноліту виражається чисельними значеннями кількості пологих і крутоспадних блоків, розділених системою тріщин, дозволило розрахувати їх технологічні параметри, а також отримати геометричні рівняння в параметричному вигляді, що зв'язують початкові лінійні параметри моноліту з гірниче-геометричними параметрами тріщинуватості масиву. Використання обґрунтованих параметрів нової скоригованої технології відділення блоків природного каменю від масиву дозволить збільшити вихід придатної до використання товарної продукції на 40%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Нурымов Е.К., Букаева А.З. Современное состояние добычи блочного строительного камня из крепких горных пород. *Сборник трудов XXIII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века»*. Донецк : МСМ, 2016. Том. 2. С. 90–95.

2. Мандринкевич В.Н., Морозова Т.В., Усик И.И. Разработка месторождений природного камня взрывным способом. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. 2016. Вып. 92. С. 78–82.

3. Madjid YU, Emad M.Z., Rehman G., Arshad M. Influence of the methods of extraction of block stone in the Hevra quarry on the quality of the separated blocks. *Journal of Mining Science*. 2019. № 4. P. 105–121. DOI: 10.15372/FTPRPI20190412.

4. Pershin G.D., Karaulov N.G., Ulyakov M.S. The research of high-strength dimension stone mining technological schemes in Russia and abroad. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld*. Odessa : Kuprienko, 2013. Rel. 2. Tom 11. P. 64–73.

5. Pershin G.D., Karaulov N.G., Ulyakov M.S., SHarov V.N. Features of diamond-wire saws application for rock overburden re-moval at marble quarry construction. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld*. Odessa : Kuprienko, 2013. Rel. 3. Tom 14. P. 39–42.

6. Першин Г.Д., Караулов Н.Г., Уляков М.С. Современные технологические схемы добычи блочного высокопрочного камня. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2015. № 3. С. 5–11.

7. Першин Г.Д., Уляков М.С. Повышение выходов блоков высокопрочного камня на месторождениях со сложным залеганием природных трещин в массиве. *ФТПРПИ*. 2015. № 2. С. 118–123.

8. Дубровский А.Б., Уляков М.С. Выбор оборудования при разработке Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов. *Горный журнал*. 2011. № 5. С. 67–70.

9. Першин Г.Д., Уляков М.С. Обоснование комбинированного способа подготовки к выемке блочного высокопрочного камня. *Изв. вузов. Горн. журн*. 2013. № 4. С. 15–18.

10. Афонин В.Г., Гейман Л.М., Комир В.М. Справочное руководство по взрывным работам в строительстве. Киев : Будівельник, 1974. 369 с.

11. Беляев А.Ф., Мазнеев С.Ф. Зависимость скорости горения дымного пороха от давления. *Доклады АН СССР*. 1960. Том 131. № 4. С. 887.

12. Физический энциклопедический словарь. Москва : Сов. энциклопедия, 1965. Том 4. 592 с.

13. Белоконь В.П., Белоконь М.П., Ольховский А.К. Исследование влияния детонационных характеристик ВВ и физико-механических

свойств горных пород на продолжительность волны сжатия. *Механика и разрушение горных пород* : Межвед. сб. науч. тр. Киев : Наук. думка, 1974. Вып. 2. С. 227–229.

14. Кутузов Б.Н., Тарасенко В.П. Физика разрушения горных пород. Москва : Изд-во МГУ, 1975. Часть 2. 190 с.

15. Ито И., Сасса К., Танимото Т. Механизм разрушения горных пород под действием взрыва. *Дзайрё*. 1973. Том. 20. С. 203–206.

16. Ищенко К.С., Кратковский И.Л. Исследование эффективности нового способа отделения монолитов от скального массива энергией взрыва. *Геотехническая механика* : Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2012. № 104. С. 31–41.

17. Ефремов Э.И., Петренко В.Д., Рева Н.П., Кратковский И.Л. Механика взрывного разрушения пород различной структуры. Киев : Наук. думка, 1984. 192 с.

18. Кратковский И.Л. Механизм образования вертикальных трещин в гранитных массивах. *Геотехническая механика* : Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2001. Вып. 27. С. 169–174.

19. Ефремов Э.И., Кратковский И.Л. Взрывной способ добычи облицовочных гранитов с учетом особенностей их структуры. *Форум гірників – 2009* : Матеріали міжнародної конференції. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2009. Том 2. С. 19–23.

20. Спосіб вибухового відділення моноліту від скельного масиву : пат. 98546 Україна / К.С. Іщенко. № а200812446 ; заявл. 23.10.2008 ; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10.

#### **Information about the authors:**

**Konoval Volodymyr Mykolaiovych,**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor at the Department

of Industrial and Civil Construction

Cherkasy State Technological University,

460, Shevchenko boulevard, Cherkasy, 18006, Ukraine,

**Ishchenko Kostiantyn Stepanovych,**

Doctor of Technical Sciences, Senior Research Scientist,

Senior Research Scientist at the Department of

foundations of technologies open field development

Institute of Geotechnical Mechanics named by N.S. Poljakov

of National Academy of Sciences of Ukraine,

2a, Simferopolskaya str., Dnipro, 49005, Ukraine