

ЩІПАНОВ ІГОР

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

<https://orcid.org/0000-0001-7404-7264>e-mail: igorshipanov2904@gmail.com

ВОРОБІЙОВ ВІКТОР

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

<https://orcid.org/0000-0002-3446-4714>e-mail: vvv.imit@gmail.com

УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРІЩИНИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ НЕВИБУХОВИХ РУЙНУЮЧИХ СУМІШЕЙ

Актуальною задачею при добуванні блочною каменю є оптимізація робочого процесу і покращення вже існуючих технологій. В статті акцентується увага на питанні як впливає зміна параметрів вільного шпуру на якість тріщини відколювання та ефективність проведення робіт з використанням НРС. Проведено три серії дослідів в яких параметри вільного шпуру задавались різним чином. На основі отриманих результатів, проведено аналітичний аналіз, представлено способи, що мають самий ефективний вплив на якість та ефективність проведення робіт.

Ключові слова: невибухова руйнуюча суміш, направлений розкол, статичні навантаження, тріщиноутворення, видобуток кам'яних блоків, бурові роботи.

IHOR SHCHIPANOV, VICTOR VOROBYOV

Kremenchug Mykhailo Ostrogradskyi National University

CONTROL OF CRACK PROPAGATION USING NON-EXPLOSIVE DEMOLITION MIXTURES

In conducting operations for the extraction of block products using non-explosive demolition agents, particular attention is given to the efficiency of the work and the quality of the resulting products. This study focuses on parameters of free borehole, a topic that has been seldom addressed and only marginally touched upon.

This article examines exactly how changing some parameters and the shape of a free hole will affect the process of chipping a block stone and how it can affect the nature of the chipping crack itself.

Three series of experiments were conducted where variations in free borehole parameters were systematically altered to observe their influence on the progress of the operations. Models made of alabaster were used throughout all experiments, maintaining consistent dimensions. Additionally, a split cartridge was utilized during the experiments to enhance the control over the crack propagation.

In the work, on the basis of the conducted research, results were obtained in which it is possible to observe under which parameter changes what result we will get, the maximum deviations of the crack from the planned splitting line were measured, and the results of the total deviation value on the marked sections were obtained, which can be observed in the drawings in the form of blue lines.

The study includes illustrations of the work progress, data compiled in tables, and an analysis highlighting the differences in results obtained upon completion of each experimental series.

The article demonstrates that the proposed changes to the parameters of the free borehole, as outlined in this study, significantly impact the existence and offer substantial potential for further development of this issue. The implementation of these methods also significantly reduces the amount of waste during subsequent stone processing due to more precise splitting, thereby positively impacting both environmental and economic factors. The obtained results of the experiments in the article can be used in further research and expand the topic of the article more widely.

Keywords: non-explosive demolition agent, directional splitting, static loads, crack formation, stone block extraction, drilling operations.

Постановка проблеми

Використання невибухових руйнуючих сумішей (НРС) мають значні переваги над використанням вибухових речовин в добуванні блочною продукції. Вибухові речовини призводять до виникнення шкідливого тріщеноутворення, значної залишкової області пошкодження і забруднення, які можуть вплинути на якість і міцність вихідної продукції. Використання невибухових руйнуючих сумішей є більш безпечнішим та екологічно кращим методом у порівнянні з використанням вибухових речовин. НРС знижує ризики для робітників та забезпечує зменшення шкоди навколишньому середовищу. Невибухові руйнуючі суміші дозволяють добувати сировину з мінімальною кількістю тріщин та сколів і більш точно керувати напрямком та глибиною розколу.

Одною з головних задач при добуванні блочною сировини з природного каменю невибуховими руйнуючими сумішами є оптимізація технологічного процесу. Застосування ефективних методів руйнування забезпечить ще більшу мінімізацію відходів та підвищення якості при виготовленні готової продукції, тим самим значно вплине на економічну складову питання та знизить трудомісткість проведення робіт.

Аналіз досліджень та публікацій

Останні дослідження показують, що модернізація та впровадження нових технологій при добуванні блочною каменю позитивно впливає на якість вихідної продукції. В роботі [1] пропонується використовувати спеціальну конструкцію пластини вставки, яку розміщують в шпурі, після чого шпур заповнюють НРС, за допомогою такого методу збільшується керованість тріщини розколу. В роботі [2] автор пропонує використовувати спеціальний патрон в який розміщається НРС, після чого сам патрон поміщають в шпур. Таким чином патрон створює зони концентрованих напружень в шпурі, що позитивно впливає на ефективність і швидкість проведення робіт. В роботі [3] пропонується використовувати оптимізацію складу невибухової

руйнуючої речовини, що дозволить за рахунок регулювання швидкості гідратації створити високий тиск саморозширення в мінімальний термін. Автори роботи [4] пропонують гібридний метод, де НРС використовується для ініціювання кількох радіальних тріщин, а далі за допомогою гідравлічного пристрою задається напрямок тріщини відколювання. В роботі [5] розглядають питання, як впливають різні температури на розвиток експансивного тиску в невибухових руйнуючих сумішах.

Дивлячись на перераховані вище роботи, де головним чином звертають увагу тільки на підвищення ефективності та модернізацію способів і методів роботи з навантаженим шпуром, але не звертають уваги або мало виділяють часу на питання, як впливають саме параметри *вільного шпуру* на якість і ефективність проведення робіт. Автори в роботі [6] акцентують саме на це увагу, змінивши параметри вільного шпуру. В роботі [6] розглядається яким чином це може вплинути на процес добування блочного каменю в симбіозі з використанням розрізної пластини вставки, яку розміщують в робочому шпурі, тим самим підвищуючи точність тріщини розколу.

Формулювання цілей статті

Метою статті є: встановити шляхом проведення дослідів на моделях, як вплине зміна параметрів вільного шпуру на тріщину відколювання. Встановити який з даних параметрів має найбільш позитивний результат.

Виклад основного матеріалу

В роботі виконано низку дослідів, для проведення яких використовувались форми виготовлені з алебастру (розмір яких 180x300 мм, товщина – 40 мм). Для руйнування моделей використовували НР-80, якою заповнювали розрізний металевий патрон який розміщали в шпур. Розрізний патрон має циліндричну форму та розташований по всій глибині робочого шпуру.

Загальним чином було проведено три серії експериментів:

- в першій серії [рис-1] діаметр робочого та вільного шпуру складала 16 мм та мали стандартну форму, відстань між центрами шпурів – 65 мм;
- в другій серії експериментів [рис-2] робочий шпур залишився стандартної форми та мав діаметр 16 мм, вільний шпур мав вигляд прямокутної форми (ширина – 7 мм, довжина – 35 мм, відносно запланованої осі відколювання), відстань між центрами шпурів складала – 65 мм;
- в третій серії експериментів [рис-3] навантажений шпур мав стандартну форму та розміри 16 мм, вільний шпур було виконано у вигляді трьох окремих отворів які мали діаметр 7 мм, а відстань між ними складала 13 мм, відстань між центром робочого та ближчого вільного шпуру складала – 45 мм.

Після проведення кожного дослідів виконувалися замірювання відхилень тріщини від лінії запланованого відколювання, що з'єднувала осі шпурів. Замірювання виконувалось на відрізках позначених на рисунках і були занесені до таблиці-1.

Позначення на рисунках:

- 1) чорна стрілка – робочий шпур;
- 2) червона лінія – запланована лінія відколювання;
- 3) сині відрізки – позначки на моделі на яких виконувались заміри відхилення;
- 4) $+\Delta L$ та $-\Delta L$ – відхилення тріщини відносно лінії запланованого відколювання.

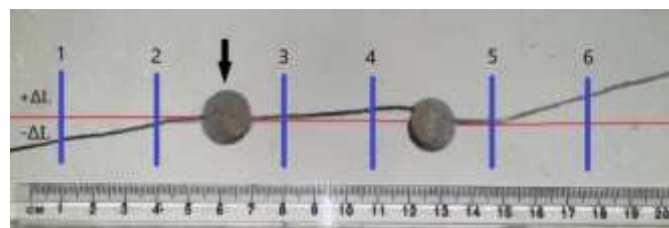


Рис. 1. Тріщина відколу при стандартній формі шпуру

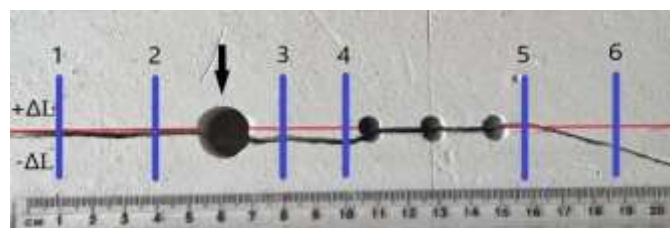


Рис. 2. Тріщина відколу при зміні форми вільного шпуру на прямокутну

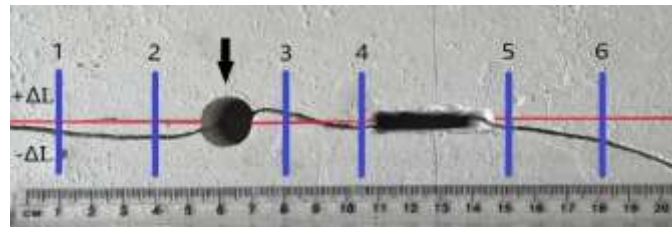


Рис. 3. Тріщина відколу при зміні форми вільного шпuru на три окремі отвори

Таблиця 1

Вплив технологічних параметрів на величину відхилення тріщини від запланованої лінії відколювання

Точки замірів	Величина відхилення, мм					
	Перша серія експериментів		Друга серія експериментів		Третя серія експериментів	
	+ΔL	-ΔL	+ΔL	-ΔL	+ΔL	-ΔL
1	0	8	0	2	0	0
2	0	3	0	4	0	0
3	1	0	3	0	0	3
4	4	0	0	2	0	4
5	0	0	0	2	2	0
6	9	0	0	7	0	7
Максимальні відхилення	9	8	3	7	2	7
Загалом	25		20		16	

Висновки

1. Проведені дослідження показали, що зміна параметрів вільного шпuru в другій та третій серії експериментів позитивно впливає на характер тріщини відколу і дозволяє зменшити відхилення від запланованого напрямку відколювання в порівнянні зі стандартними параметрами.

2. Експериментально встановлено, що запропоновані зміни параметрів вільного шпuru в другій серії дослідів на 20% знижують сумарне відхилення тріщини, також зменшується максимальне відхилення на 23% в порівнянні з першою серією експериментів (традиційна технологія).

3. Експериментально встановлено, що запропоновані зміни параметрів вільного шпuru в третій серії дослідів на 20% знижується максимальне відхилення тріщини, а сумарне відхилення має на 46% кращі показники в порівнянні з першою серією експериментів. Також встановлено, що показник сумарного відхилення на 20% менший ніж в другій серії експериментів.

4. Використання запропонованих технологій може значно зменшити трудомісткість і збільшити швидкість проведення робіт, ефективно вплинувши на економічну складову.

В наступних дослідженнях можна сконцентрувати увагу над подальшою оптимізацією та вдосконаленням параметрів вільного шпuru, а саме: розглянути, як може вплинути зміна відстані між вільними шпурями на характер тріщини та як впливає зміна кількості вільних шпурів на напрямок тріщини розколу (наприклад збільшення їх до чотирьох і більше); дослідити, як вплине зміна діаметру вільного шпuru на робочий процес, та інше.

Література

1. Фоменко І.О., Ковтун А.І. Дослідження технологічних параметрів процесу керування напрямком розколу блочного каменю під час використання невибухових руйнівних сумішей. Вісник НТУУ «Київського політехнічного інституту». Серія: Гірництво. Київ, 2014. № 26. С. 63–69.
2. Сахно І.Г. Наукові основи управління станом гірських порід невибуховими руйнівними сумішами при підземній розробці родовищ: дис. ... д-ра техн. наук : 05.15.02. Покровськ, 2015. 457с.
3. Сахно І.Г. Невибухова руйнівна суміш : пат. 102305 Україна : S04V 37/00 а 2011 14102 ; заявл. 29.11.2011 ; опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12. 5 с.
4. De Silva V. R. S., Konietzky H., Mearten H., Ranjith P. G.,& Kumari W. G. P. A Hybrid Approach to Rock Pre-conditioning Using Non-explosive Demolition Agents and Hydraulic Stimulation. Rock Mechanics and Rock Engineering. Volume 56, Issue:10, October 2023, pages 7415–7439. <https://doi.org/10.1007/s00603-023-03455-4>
5. Atteyeh S. Natanzi, Debra F. Laefer, Lorcan Connolly. Cold and moderate ambient temperatures effects on expansive pressure development in soundless chemical demolition agents. Construction and Building Materials. Volume 110, 1 May 2016, Pages 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.016>
6. Воробйов В.В., Щипанов І.А. Оптимізація технологічного процесу добування блочного каменю невибуховими руйнівними сумішами. Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства : Міжнар. науково-

практ. конф. студентів, аспірантів та молодих учених, м. Кременчук, 25 квіт. 2024 р. Кременчук, 2024. С. 99–100.

7. De Silva RV, Pathegama Gamage R, Anne Perera MS. An Alternative to Conventional Rock Fragmentation Methods Using SCDA: A Review. *Energies*. 2016; 9(11):958. <https://doi.org/10.3390/en9110958>

8. Tetsuo Harada, Koichi Soeda, Takashi Idemitsu, Akira Watanabe. Measurement method of expansion pressure of static demolition agent and various properties of expansion pressure. 1993, Vol. 478, pp. 91-100. https://doi.org/10.2208/jscej.1993.478_91

9. Arshadnejad, Sh., & Goshtasbi, K.. (2011). Analysis of the radial and tangential stress distribution between two neighbouring circular holes under internal pressure by numerical modelling. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 111(5), 301-308. Retrieved August 02, 2024, from http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532011001700001&lng=en&tlng=en.

10. Tang S.B.,Huang R.Q.,Wang S.Y.,Bao C.Y.,Tang C.A. Study of the fracture process in heterogeneous materials around boreholes filled with expansion cement. *International Journal of Solids and Structures*. Volume 112, 1 May 2017, Pages 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2017.03.002>

References

1. Fomenko I.O., Kovtun A.I. Doslidzhennia tekhnolohichnykh parametriv protsesu keruvannia napriamkom rozkolu blochnoho kameniu pid chas vykorystannia nevybukhovnykh ruiniivnykh sumishei. *Visnyk NTUU «Kyivskoho politekhnichnoho instytutu»*. Seria: Hirnyctvo. Kyiv, 2014. № 26. S. 63–69.

2. Sakhno I.H. Naukovi osnovy upravlinnia stanom hirs'kykh porid nevybukhovnykh ruiniivnykh sumishamy pry pidzemnii rozrobtsi rodovyshch: dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.15.02. Pokrovsk, 2015. 457s.

3. Sakhno I.H. Nevybukhova ruiniivna sumish : pat. 102305 Ukraina : S04V 37/00 a 2011 14102 ; zaivl. 29.11.2011 ; opubl. 25.06.2013, Biul. № 12. 5 s.

4. De Silva V. R. S., Konietzky H., Mearten H., Ranjith P. G.,& Kumari W. G. P. A Hybrid Approach to Rock Pre conditioning Using Non explosive Demolition Agents and Hydraulic Stimulation. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. Volume 56, Issue:10, October 2023, pages 7415–7439. <https://doi.org/10.1007/s00603-023-03455-4>

5. Atteyeh S. Natanzi, Debra F. Laefer, Lorcan Connolly. Cold and moderate ambient temperatures effects on expansive pressure development in soundless chemical demolition agents. *Construction and Building Materials*. Volume 110, 1 May 2016, Pages 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.016>

6. Vorobiov V.V., Shchypanov I.A. Optymizatsiia tekhnolohichnoho protsesu dobuvannia blochnoho kameniu nevybukhovnykh ruiniivnykh sumishamy. Aktualni problemy zhyttiedialnosti suspilstva : Mizhnar. nauково-prakt. konf. studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh, m. Kremen'chuk, 25 kvit. 2024 r. Kremen'chuk, 2024. S. 99–100.

7. De Silva RV, Pathegama Gamage R, Anne Perera MS. An Alternative to Conventional Rock Fragmentation Methods Using SCDA: A Review. *Energies*. 2016; 9(11):958. <https://doi.org/10.3390/en9110958>

8. Tetsuo Harada, Koichi Soeda, Takashi Idemitsu, Akira Watanabe. Measurement method of expansion pressure of static demolition agent and various properties of expansion pressure. 1993, Vol. 478, pp. 91-100. https://doi.org/10.2208/jscej.1993.478_91

9. Arshadnejad, Sh., & Goshtasbi, K.. (2011). Analysis of the radial and tangential stress distribution between two neighbouring circular holes under internal pressure by numerical modelling. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 111(5), 301-308. Retrieved August 02, 2024, from http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532011001700001&lng=en&tlng=en.

10. Tang S.B.,Huang R.Q.,Wang S.Y.,Bao C.Y.,Tang C.A. Study of the fracture process in heterogeneous materials around boreholes filled with expansion cement. *International Journal of Solids and Structures*. Volume 112, 1 May 2017, Pages 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2017.03.002>