

© Є.Є. Павлов¹, Е.В. Фесенко¹, А.І. Новак¹

¹ ТОВ "Технічний університет "Метінвест Політехніка", Маріуполь, Україна

ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ ПУСТОТ ЗАКРІПНОГО ПРОСТОРУ АРКОВОГО КРІПЛЕННЯ НА СТІЙКІСТЬ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

© Ye. Pavlov¹, E. Fesenko¹, A. Novak¹

¹ Metinvest Polytechnic Technical University LLC, Mariupol, Ukraine

INFLUENCE OF THE VALUE OF HOLLOWES OF FIXING SPACE OF ARCH SUPPORT ON STABILITY OF MINING STRUCTURE

Мета. Оцінити вплив величини пустот закріпного простору аркового кріплення на стійкість гірничих виробок.

Методи дослідження. Дослідження проводилися шляхом шахтних інструментальних замірів пустот закріпного простору із статистичною обробкою отриманих результатів.

Результати. Шахтними інструментальними вимірами вивчені статистичні закономірності розподілу й розміри порожнеч в закріпному просторі гірничих виробок, споруджених буровибуховим і комбайновим способами. Встановлено причини створення порожнеч закріпного простору у виробках споруджених буровибуховим і комбайновим способами та їх завищення від нормативів. Показано значне перевищування нормативних порожнеч закріпного простору при буровибуховому та комбайновому проведенні гірничих виробок. Доказано, що у більшості випадків закріпний простір не заповнюють забутом, що є порушенням правил проведення і кріплення підземних гірничих виробок. Доведено, що при зміщенні порід покрівлі у разі відсутності забутовки закріпного простору, навантаження на кріплення формується у вигляді зосередженої сили, що значно знижує несучу здатність рамного кріплення і стійкість виробки. Застосовувані на шахтах технології проведення виробок (БВР і комбайнова) та технічний стан обладнання не забезпечують нормальних умов експлуатації виробок та роботи кріплення, коли навантаження розподіляється рівномірно по всьому контуру.

Наукова новизна. Вивчення закономірностей розподілу пустот в закріпному про-просторі гірничих виробок, проведених буровибуховим і комбайновим способами. Оцінено вплив величини пустот закріпного простору аркового кріплення на стійкість гірничих виробок.

Практичне значення. Оцінено міру зниження стійкості порід і несучої здатності кріплення в реальних умовах проведення виробок. Результати дослідження дозволять запобігти негативному прояву впливу пустот закріпного простору на стійкість гірничих виробок та зрозуміти, як взаємодіє кріплення з масивом гірських порід в момент проведення гірничої виробки.

Ключові слова: виробка, покрівля, зтяжка, пустоти, арочне кріплення.

Вступ. Ефективність розробки вугільних родовищ значною мірою пов'язана з проблемою забезпечення стійкості виробок. Їх експлуатаційний стан на сучасних шахтах Донбасу значно погіршав, що зумовлено збільшенням глибини розробки й інтенсифікацією проявів гірського тиску. Незадовільний стан виробок і їх ремонт стримують гірничопідготовчі й очисні роботи, унаслідок чого знижуються техніко-економічні показники шахт [1].

У вугільній промисловості України споруджується близько 150 км розкривних і підготовчих виробок в рік (рис.1) [2]. Основним способом проведення виробок є буровибуховий, за допомогою якого проводиться близько 70% гірничих виробок. У порівнянні з комбайновою технологією буровибухова має ряд переваг: універсальність, простоту, незначну енергоємність, можливість швидкого пристосування до різко мінливих гірничо-геологічних умов, в тому числі до істотного збільшення міцності порід.

Однак, незважаючи на безперервне вдосконалення засобів механізації та насичення вибоїв прохідницької технікою, швидкість проходки постійно знижується, що призводить до збільшення вартості і термінів будівництва основних і підготовчих виробок.

Основна частка підтримуваних виробок у вугільній промисловості України припадає на Донецький басейн і становить понад 16 тис. км, з них щорічно через незадовільний технічний стан перекріплюється близько 10% виробок [3]. Загальний стан виробок шахт Донбасу характеризується наступними показниками: всього деформовано 50% виробок, в тому числі: підготовчих горизонтальних 64%, похилих - 52%, приствольних дворів 43%. Із загального обсягу деформованих виробок 20% перебувало в аварійному стані [1].

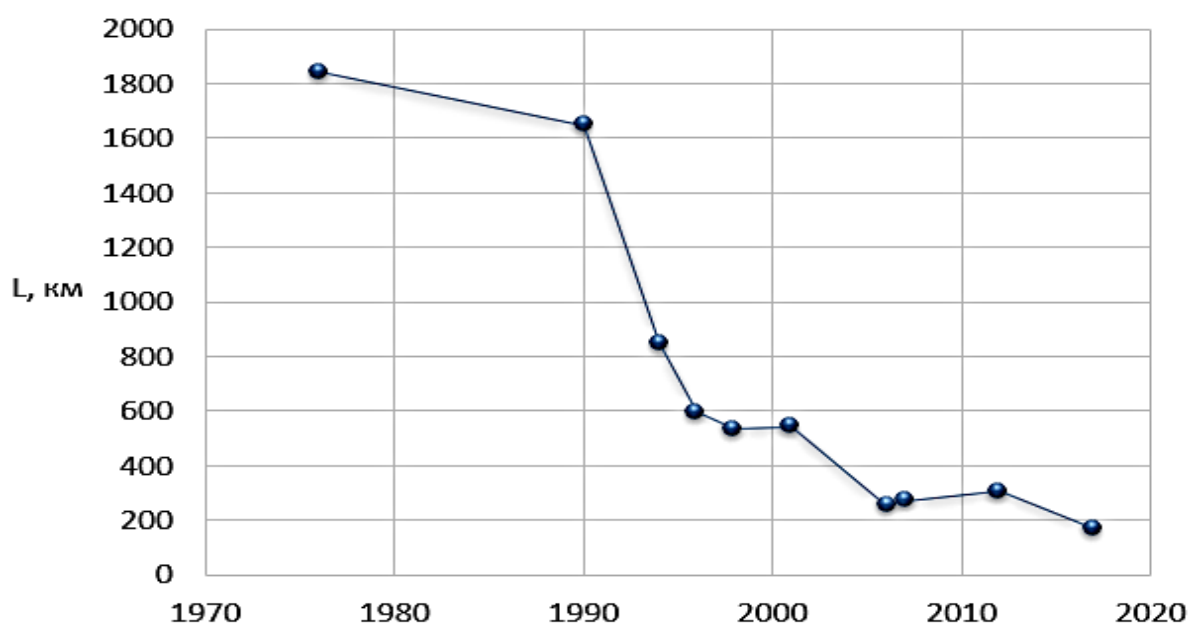


Рис. 1. Тенденції розвитку спорудження розкривних і підготовчих виробок в Україні

Основними причинами зниження стійкості гірничих виробок до початку безпосереднього впливу очисних робіт є [3]:

- невідповідність параметрів застосовуваних кріплень і способів охорони гірничо-геологічними і технічними умовами підтримки;
- відсутність контакту кріплення з породним масивом після її зведення (зокрема, через низьку якість робіт);
- подальше порушення рівноважного стану приконтурного масиву.

На великих глибинах ведення гірських робіт першопричиною деформацій 55% гірничих виробок є зміщення породних оголень по периметру виробки (боки й покрівля), 45% в результаті здимання порід ґрунту [3]. Величини допустимих відхилень (в бік збільшення) геометричних розмірів від проектних з боку покрівлі і стін виробки в реальних умовах значно перевищують нормативні [4]. В результаті через перебір перетину збільшується обсяг робіт по забуту закріпного простору, які до того ж небезпечні, тому що виконуються вручну і нерідко в незакріпленій частині виробки.

Відповідно до технічних умов споруди виробок, для рівномірного розподілу навантаження по всьому контуру рамного кріплення з боку масиву гірських порід порожнечі закріпного простору слід заповнювати породою. Однак, у зв'язку з відсутністю забуту закріпного простору або його недостатній щільності та нерівномірності, значно зростають зосереджені випадкові навантаження на кріплення, що різко знижує її несучу здатність, веде до деформацій її елементів, поломок і навіть завалів виробок. Отже, аналіз впливу величин пустот закріпного простору аркового кріплення на стійкість гірничих виробок є актуальним завданням для вдосконалення технології проведення і кріплення гірничих виробок.

Метою досліджень є аналіз стану гірничих виробок і нерівностей їх породного контуру. **Завданнями** дослідження було вивчення закономірностей розподілу пустот у закріпному просторі гірничих виробок, проведених буровибуховим і комбайнових способами. Дослідження проводилися шляхом шахтних інструментальних замірів пустот закріпного простору і статистичної обробки отриманих результатів.

Основний матеріал. Шахтні дослідження пустот закріпного простору і нерівностей контуру гірничих виробок проводилися в 2014 р на шахті Машинська ДП «Луганськвугілля» шахтоуправління «Луганське» у підготовчих виробках (2 східний конвеєрний бремсберг пл. ℓ_6^H , 5, 7 західні конвеєрні бремсберги пл. ℓ_6^H , 7 східний конвеєрний ходок пл. ℓ_6^H).

Відомості про властивості порід навколо підготовчих виробок (до 20 м вище і до 10м нижче горизонту розташування виробок) наведені в табл. 1, а дані про умови проведення виробок - в табл. 2.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості порід в обстежених підготовчих виробках

| № шару і місце залягання | Найменування | Потужність, м | Міцність порід на одновісне стиснення, МПа |
|--------------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------------|
| 1 | Пісковик | 10,0-16,0 | 40-50 |
| 2 | Алевристий аргіліт | 2,0-2,5 | 20-30 |
| 3 | Пласт | 1,1-1,2 | 10 |
| 4 | Пісковик | 2,12 | 40-50 |
| 5 | Алевроліт | 2,0-3,0 | 30-40 |

Методикою дослідження передбачалося вимір пустот закріпного простору і зсувів вузлів піддатливості сталевого рамного кріплення, а також розмірів виробки у світлі.

Для вимірювання закріпного простору була виготовлена замірна рейка. Для легкості розкладна рейка виконана з алюмінієвого прута діаметром 8 мм. Цей діаметр забезпечує жорсткість рейки навіть при невеликому (7-10 мм) зазорі між затяжками і витримує зусилля, необхідне для її просування між нею.

Перевагою такої конструкції вимірювальної рейки є: простота виготовлення; зручність при замірах в важкодоступних місцях (до 1000 мм глибини закріпного простору і при висоті виробок 3500 мм); компактність при транспортуванні.

Перевагою такої конструкції вимірювальної рейки є: простота виготовлення; зручність при замірах в важкодоступних місцях (до 1000 мм глибини закріпного простору і при висоті вироблення 3500 мм); компактність при транспортуванні.

Таблиця 2

Техніко-економічні умови проведення виробок

| Умови проведення | Найменування виробок | | | |
|---------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| | 2-й східний конвеєрний бремсберг пл. ℓ_6^H | 5-й західний конвеєрний бремсберг пл. ℓ_6^H | 7-й західний конвеєрний бремсберг пл. ℓ_6^H | 7-й східний конвеєрний ходок пл. ℓ_6^H |
| Спосіб проведення виробки | БВР | Комбайн | Комбайн | Комбайн |
| Кут падіння порід, град | 6-9 | 6-9 | 6-9 | 6-9 |
| Орієнтація виробки | по повстанню | по повстанню | по повстанню | по повстанню |
| Тип кріплення | КМП-А3 | КМП-А3 | КМП-А3, анкера | КМП-А3; анкера |

Вимірювання пустот закріпного простору проводилися в п'яти характерних точках контуру виробки (рис.2), важливих з точки зору взаємодії рамного кріплення з масивом гірських порід. Дві з них розташовувалися симетрично з боків вироблення на висоті близько 1000 мм від ґрунту (точки 1; 5), щоб стежити за контактом рамного кріплення з породним контуром при бічних зсувах порід. Дві інші точки обрані в області замків податливості (т. 2, 4), для контролю розклинювання рамного кріплення з породою, і одна точка - по центру верхняка рамного кріплення (т. 3), що показує контакт рамного кріплення з породним контуром при зсувах порід покрівлі.

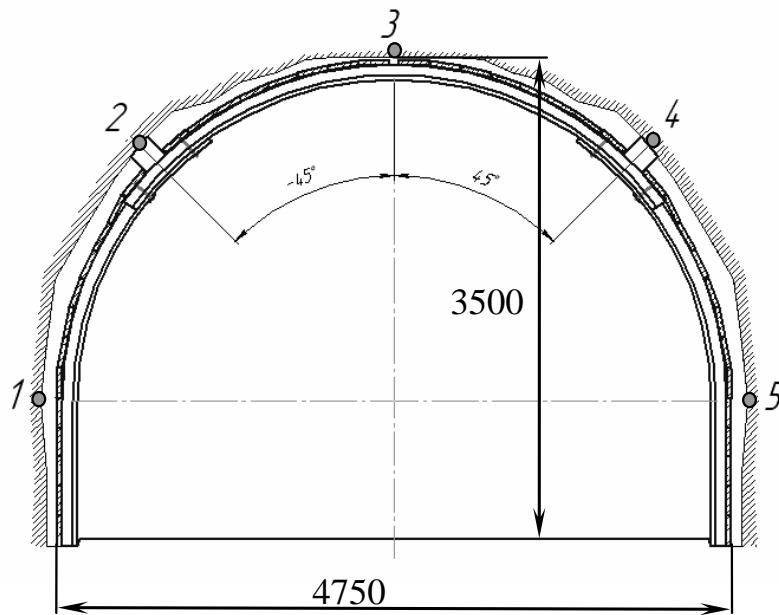


Рис. 2. Схема розміщення вимірювальних точок

Вимірну рейку просовували в зазначених точках між затягуванням до породного оголення за кріпленням, іноді розсовуючи випадкові шматки породи. Далі показники фіксувалися в журналі вимірів з урахуванням товщини залізобетонної затяжки.

Для отримання необхідних показників достовірності результатів вимірювань, методикою було передбачено проводити виміри на типових ділянках протяжністю 50 м в кожній виробці. Заміри перетину проводили через кожні 5 метрів, тобто всього було використано 10 вимірювальних перетинів в кожній виробці.

Результати вимірів порожнеч закріпного простору і їх статистичного оброблення подано в таблиці 3.

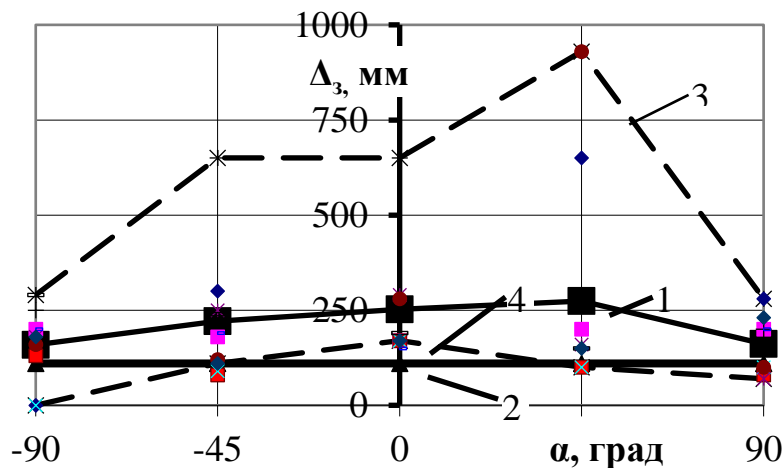
Таблиця 3

Результати статистичного оброблення вимірів порожнеч закріпного простору

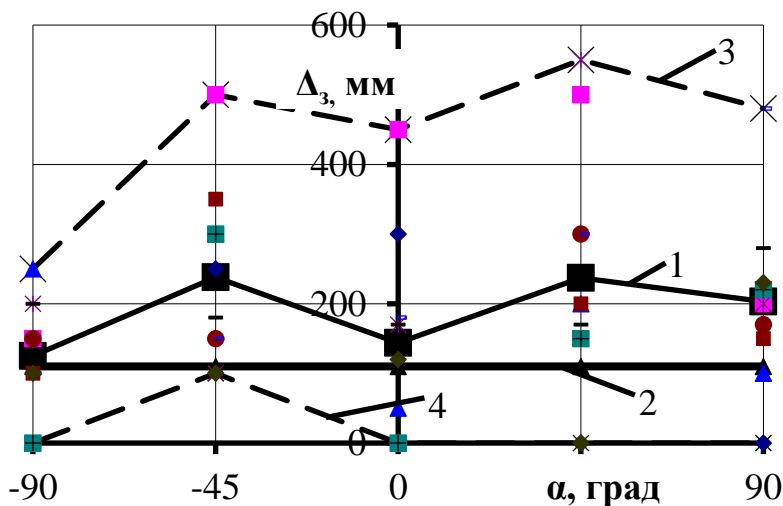
| Найменування показників | Технологія проведення виробки | |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------|------------|
| | Буровибухова | Комбайнова |
| Середнє значення порожнеч Δ_3 , мм | 190 | 215 |
| Дисперсія D | 19413 | 28668 |
| Коефіцієнт варіації k_v | 0,74 | 0,79 |
| Середньоквадратичне відхилення σ , мм | 140 | 170 |
| Середня помилка вимірів σ_0 , мм | 20 | 24 |
| Перевищення виміряних порожнеч відносно нормативних | 70-80% | 90-100% |

Щоб проаналізувати вплив пустот закріпного простору на стійкість гірничих виробок, необхідно знати, як взаємодіє кріплення з масивом гірських порід в момент проведення гірничої виробки. Для цього провели виміри пустот закріпного простору в підготовчих виробках проведених буровибуховим і комбайнових способами. Результати вимірювань наведені на графіках рис.3. Контур виробки зображений у вигляді кута, що дорівнює -90° , -45° , 0° , 45° і 90° , що відповідає точкам 1, 2, 3, 4 і 5 (рис. 2).

З графіків (рис.3) видно, що порожнечі закріпного простору при комбайновому проведенні виробки (крива 1) складають в середньому 215 мм, а при буровибуховому способі (крива 2) близько 190 мм, тоді як допустимі за нормами (крива 3) значення переборів [2] для даних виробок складають 110 мм. Звідси можна зробити висновок, що перебори при буровибуховому способі перевищують нормативні у 1,7 рази, а при комбайновому виїманні майже в 2 рази.



а) 7-й західний конвеєрний бремсберг пл. l_6^H



б) 2-й східний конвеєрний бремсберг пл. l_6^H

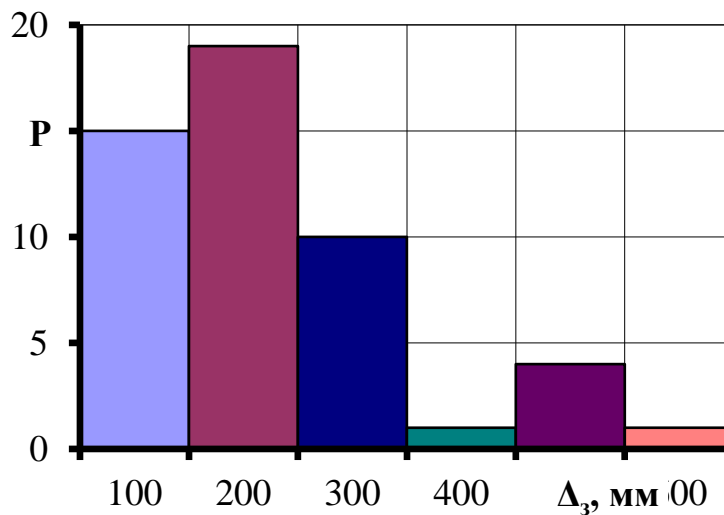
1 – середнє значення пустот закріпного простору; 2 – нормативне значення переборів; 3, 4 – максимальні і мінімальні значення пустот

Рис. 3. Розподіл пустот закріпного простору в характерних точках взаємодії кріплення з масивом

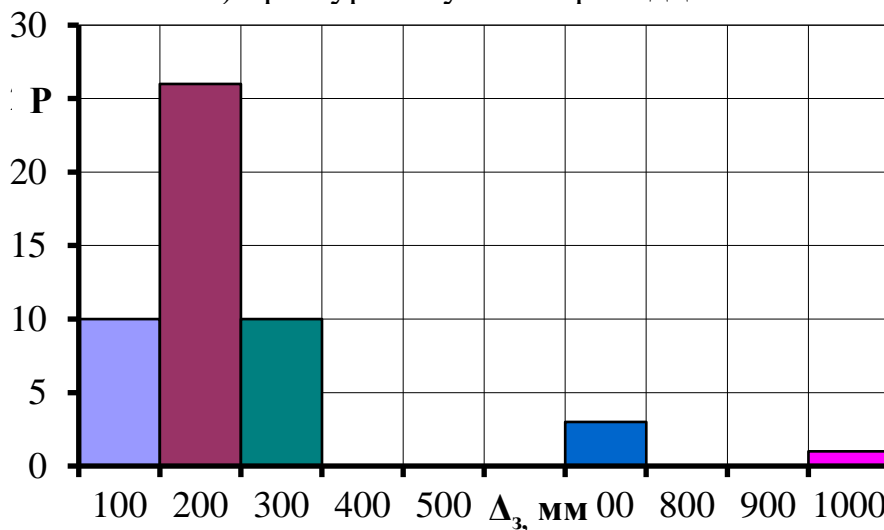
Можна також відзначити, що при комбайновому вийманні середня ширина пустот закріпного простору перевищує ширину пустот у виробках, пройдених буровибуховим способом, в 1,15 рази, а максимальні (крива 4) в 1,7 рази. Найменші зазори (крива 5) частіше простежуються при буровибуховому проведенні виробки.

При буровибуховому і комбайновому способах проведення виробок максимальні зазори спостерігаються в покрівлі виробок, а найменші - в боках.

Далі, розглянемо графіки залежності ймовірності P пустот що зустрічаються у закріпному просторі в цих же підготовчих виробках, наведених на рис. 4. При буровибуховому способі, в 70% випадків ширина зазору перевищує нормативну (110 мм), в 60% - коливається від 100 до 300 мм і в 10% від 300 до 600 мм, а при комбайновому вийманні, ширина зазору перевищує нормативну у 80 % випадків, 70% від 100 мм до 300 мм і 10% - займають вивалоутворення глибиною до 1000 мм.



а) при буровибухової проходці



б) при комбайновій проходці

Рис. 4. Гістограма частот для інтервалу пустот Δ_3

Середній обсяг закріпного простору при буровибуховому способі проведення виробки становить $2,2 \text{ м}^3$, а при виїмці комбайном $2,6 \text{ м}^3$.

Для оцінки інтенсивності проявів гірського тиску одночасно проводилися виміри зсувів елементів спецпрофіля в вузлах піддатливості кріплення.

Інтенсивність прояву гірського тиску оцінювалася в 5-му західному конвеєрному бремсбергу пл. l_6^H (рис.5). Заміри проводились на ділянці, що охороняється ціликом вугілля. З рисунка видно, що на протязі 45 м від лави відбуваються значні зсуви порід з боку лави (лінія 1) від 50 мм до 1300 мм і з протилежного боку (лінія 2) від 50 мм до 800 мм. Після просування очисних робіт у виробці спостерігалася значне здимання ґрунту, і зміщення елементів кріплення. При цьому середній розмір закріпного простору при максимальних зсувах залишався в межах 100 мм. Виробки згодом неодноразово перекріплювалась, а також проводилося підривання порід через велике здимання ґрунту.

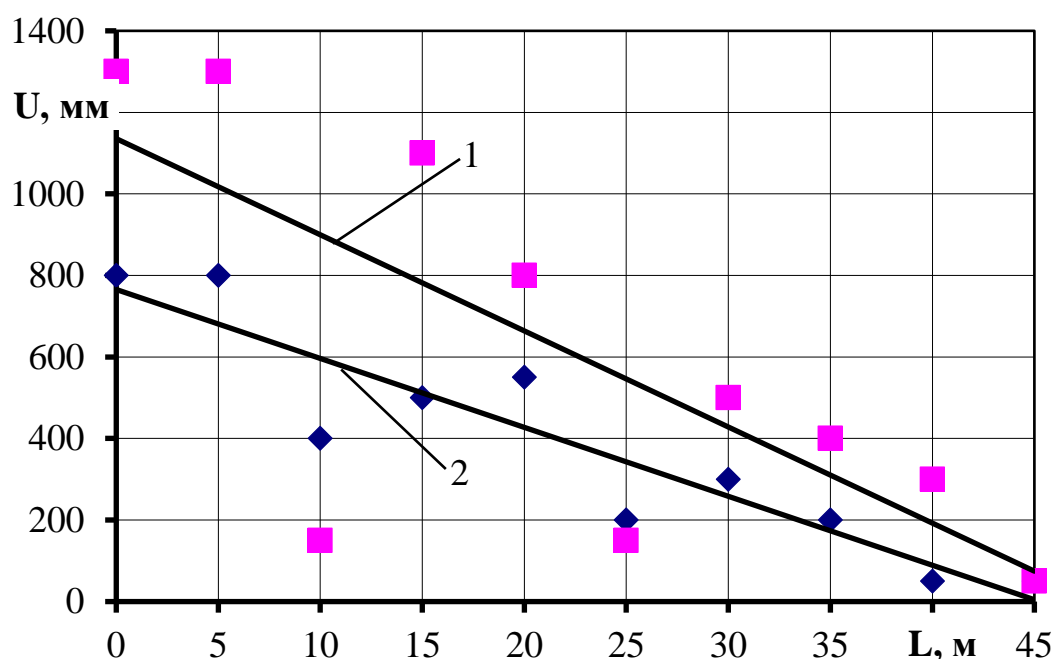


Рис. 5. Зміщення елементів кріплення в вузлах піддатливості 5-го західного конвеєрного бремсберга пл. l_6^H

Значне зменшення пустот закріпного простору за рахунок зміщення порід можна помітити в підготовчій виробці, що знаходиться в зоні впливу очисних робіт. На рис. 6 наведені розміри пустот закріпного простору в покрівлі (лінія 1) і боках (лінія 2) виробки на відстані від 10 до 90 м попереду очисного вибою. На даній ділянці довжиною $L = 90 \text{ м}$ помітне зменшення пустот зі 100 до 10 мм спостерігалася в покрівлі, тобто в 10 разів, а в боках і в зоні вузлів піддатливості зменшення зазору закріпного простору за рахунок зсувів порід сталося з 200 до 120 мм, тобто в 1,7 рази.

Можна відзначити, що навіть при інтенсивному зміщенні порід покрівлі, порожнечі в боках і в районі вузлів піддатливості, не забезпечували нормальних

умов роботи кріплення, оскільки висока несуча здатність кріплення забезпечується при заповненні закріпного простору по всьому контуру виробки, а порожнечі рівні $\Delta_3 = 0$ мм.

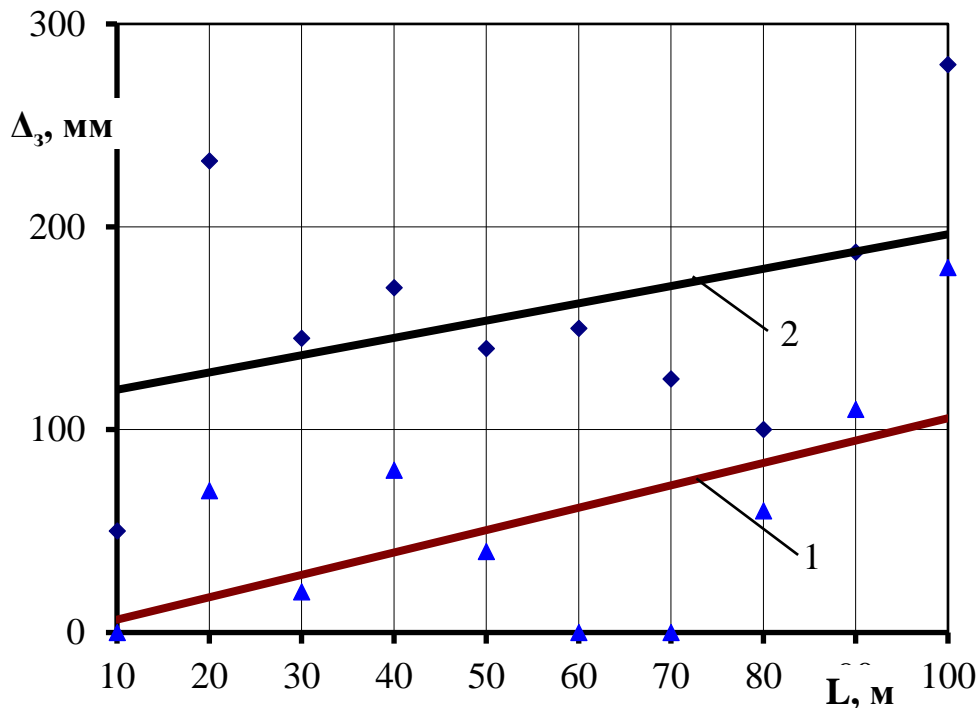
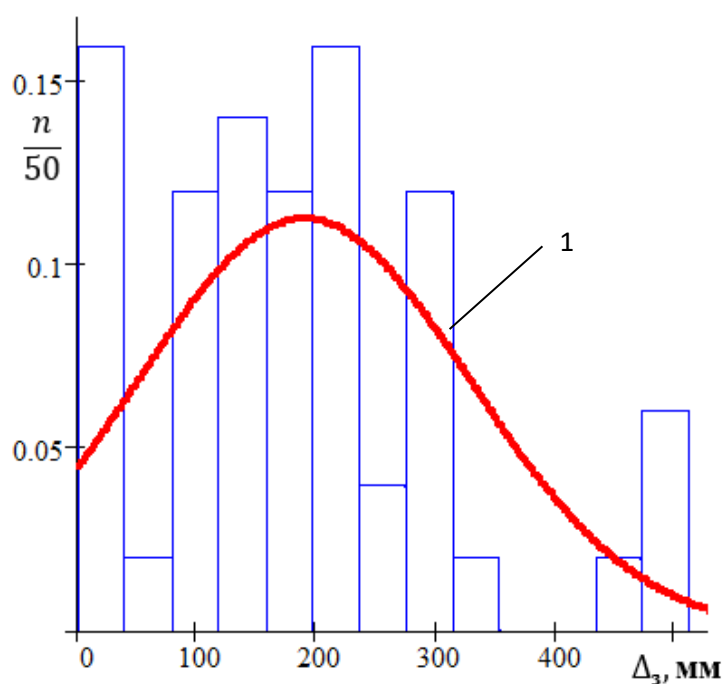


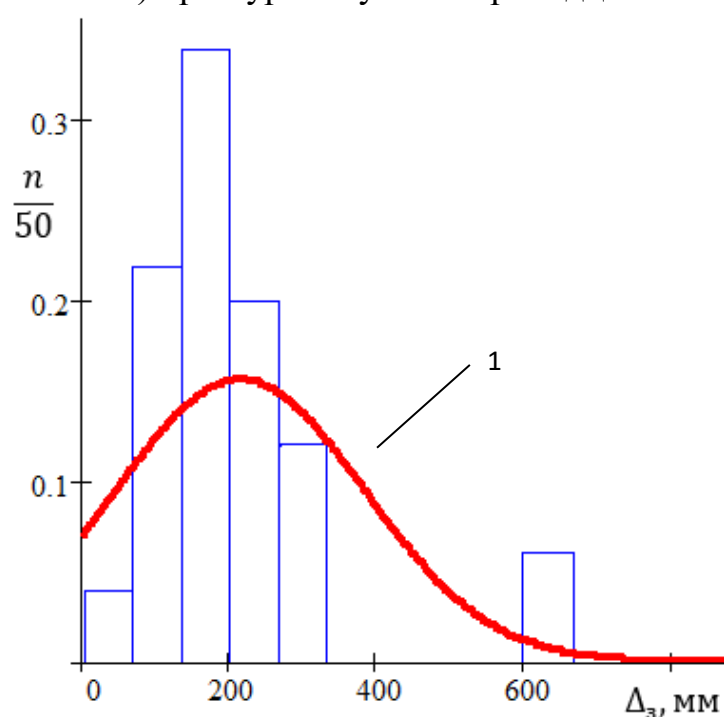
Рис. 6. Зміна пустот закріпного простору 7-го східного конвеєрного ходка пл. l_6^H

Для перевірки гіпотези про нормальний розподіл статистичної сукупності скористаємося критерієм Пірсона, заснованого на порівнянні емпіричних і теоретичних частот. В результаті розрахунків для виробок, проведених буровибуховим і комбайновим способами, гіпотеза про нормальний розподіл сукупності не підтвердилася. На графіках (рис. 7) приведена гістограма залежності кількості випадків n для окремих інтервалів пустот Δ_3 до загальної кількості вимірів і усічений логнормальний розподіл (крива 1).

Шахтними дослідженнями встановлено, що повне заповнення порожнеч закріпного простору трапляється в 16% випадків за буровибухового проведення виробки й лише в 4% – під час комбайнового, тоді як, згідно з технічними умовами, потрібно 100% заповнення порожнеч, тобто $n/50 = 1$. Тому під час зміщення порід покрівлі навантаження на кріплення формується у вигляді зосередженої сили, що значно знижує несучу здатність кріплення. Нерівномірне навантаження кріплення призводило до неодноразового перекріплювання й підривання порід підосви. Таким чином, існуючі технології проведення й підтримування гірничих виробок не забезпечують повної взаємодії рамного кріплення з масивом гірських порід.



а) при буровибухової проходці



б) при комбайновій проходці

Рис. 7. Гістограма і усічений нормальний розподіл результатів вимірів пустот

Висновки. 1. Порожнечі закріпного простору перевищують нормативні при буровибуховому способі в 1,7 рази, а при комбайновому вийманні в 2 рази. При комбайновому вийманні середня ширина пустот закріпного простору перевищує ширину пустот у виробки, пройдені буровибуховим способом, в 1,1...1,2 рази.

2. Закріпний простір не заповнено забутом, повне заповнення пустот (торкання порід з кріпленням) закріпного простору зустрічається в 16% випадків

при буровибуховому проведенні виробки і в 4% - при комбайновому, коли ідеальним є 100% заповнення пустот.

3. При зміщенні порід покрівлі навантаження на кріплення формується у вигляді зосередженої сили, що значно знижує несучу здатність рамного кріплення і стійкість виробки.

4. Застосовувані на шахтах технології проведення виробок (БВР і комбайнова) не забезпечують стійкість гірничих виробок через:

- порушення проектних норм по кріпленню виробок;
- невідповідностей розмірів пустот закріпного простору з проектними;
- відсутність або погану якість забутовки;
- невідповідностей розрахованих навантажень на рамне кріплення з реальними;
- неправильних розрахунків густини встановлення рамного кріплення;

5. При інтенсивному зміщенні порід покрівлі, порожнечі в боках і в районі вузлів піддатливості не заповнюються забутовкою, тим самим не забезпечують нормальних умов роботи кріплення, шляхом перерозподілу навантаження по всьому контуру.

Перелік посилань

1. Павлов, Є.Є., & Фесенко, Е.В. (2021). Аналіз стану стійкості гірничих виробок та шляхи розвитку гірничої галузі України. *Actual trends of modern scientific research. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference*. MDPC Publishing. Munich, Germany. 229-235.
2. Офіційний сайт Міністерства енергетики України (n.d.) <http://mpe.kmu.gov.ua/>.
3. Каретников, В.Н., Клейменов, В.Б., & Нуждихин, А.Г. (1989). *Крепление капитальных и подготовительных выработок. Справочник*. Москва: Недра.
4. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони : [чинний від 2008-04-01]. (2007). Київ: Мінвуглепром України.

АННОТАЦІЯ

Цель. Оценить влияние величины пустот закрепного пространства арочной крепи на устойчивость горных выработок.

Методы исследования. Исследования проводились путем шахтных инструментальных замеров пустот закрепного пространства со статистической обработкой полученных результатов.

Результаты. Шахтными инструментальными измерениями изучены статистические закономерности распределения и размеры пустот в закрепительном пространстве горных выработок, проведенных буровзрывным и комбайновым способами. Установлены причины появления пустот закрепного пространства в выработках, проведенных буровзрывным и комбайновым способами и их превышения от нормативов. Показаны значительные превышения нормативных пустот закрепного пространства при буровзрывном и комбайновом проведении горных выработок. Доказано, что в большинстве случаев закрепное пространство не заполнено забутовкой, что является нарушением правил проведения и крепления подземных горных выработок. Доказано, что при смещении пород кровли при отсутствии забутовки закрепного пространства, нагрузка на крепь формируется в виде сосредоточенной силы, что значительно снижает несущую способность рамного крепления и устойчивость выработки. Применяемые на шахтах технологии проведения выработок (буровзрывная и комбайновая) и техническое состояние оборудования не обеспечивают нормальных условий эксплуатации выработок и работы крепи, когда нагрузка распределяется равномерно по всему контуру.

Научная новизна. Изучение закономерностей распределения пустот в закрепном пространстве горных выработок, проведенных буровзрывным и комбайновым способами.

Практическое значение. Оценена мера снижения устойчивости пород и несущей способности крепи в реальных условиях проведения выработок. Результаты исследования позволяют предотвратить негативное проявления влияния пустот закрепного пространства на устойчивость горных выработок и понять, как взаимодействует рамная крепь с массивом горных пород в момент проведения горной выработки.

Ключевые слова: *выработка, кровля, затяжка, пустоты, арочная крепь.*

ABSTRACT

Objective. To assess the effect of the size of the voids of the anchorage space of the arch support on the stability of mine workings.

Research methods. The studies were carried out by means of mine instrumental measurements of the voids of the anchorage space with statistical processing of the results.

Findings. Mine instrumental measurements studied the statistical regularities of the distribution and sizes of voids in the fixing space of mine workings, carried out by drilling and blasting and combine methods. The reasons for the appearance of voids in the anchorage space in the workings carried out by drilling and blasting and combine harvester methods and their overestimation from the standards have been established. Significant exceeding of normative voids of fixing space at drilling and combining carrying out of mine workings is shown. It is proved that in most cases the fixing space is not filled with forgotten, which is a violation of the rules of conducting and securing underground mine workings. It is proved that when the roof rocks are displaced in the absence of a retaining space, the load on the fastening is formed in the form of a concentrated force, which significantly reduces the load-bearing capacity of the frame fastening and the stability of production. The working technologies used in the mines (BVR and combine) and the technical condition of the equipment do not provide normal conditions for the operation of the workings and the operation of the fasteners, when the load is distributed evenly throughout the circuit.

The originality. Study of the regularities of the distribution of voids in the fixed space of mine workings, carried out by drilling and blasting and combine methods.

Practical implications. The measure of the reduction in rock stability and the bearing capacity of the support in the real conditions of excavation has been estimated. The results of the study will prevent the negative impact of the cavities of the fastening space on the stability of the workings and understand how the fastening interacts with the array of rocks at the time of mining.

Keywords: *development workings, roofing, tightening, voids, arch support.*