

RESEARCH THE INFLUENCE OF THE BACKFILLING OF THE SPACE BEHIND THE SUPPORT ON THE ROCKS PASSIVE BEARING REACTION AROUND THE ARCHED WORKING

Ye. Pavlov^{1}, E. Fesenko¹*

¹*Metinvest Polytechnic Technical University, Mariupol, Ukraine*

^{*}Corresponding author: dothent@ukr.net

Abstract. The finite element method was used to study the regularities of changes in the size and zones of passive bearing reaction of the frame support of a mine working under various load schemes, depending on the change in the backfilling density of the space behind the support.

The dependence of the backfilling density was investigated for various schemes of loading the frame support on the area and the magnitude of the change in the rocks passive bearing reaction. It is shown how the rocks passive bearing reaction changes depending on the rigidity of the space behind the support. The optimal variant of the explosive unloading method of roof rocks, which provides the minimum size of the passive bearing reaction section, has been proved.

The scientific novelty lies in the study of the regularities of the influence of the backfilling density of the space behind the support on the passive bearing reaction of rocks around the arched cross-section mine workings.

The results of studies of the backfilling density of the space behind the support for the passive bearing reaction of rocks around the workings should be taken into account when designing and calculating the support of mine workings.

Keywords: development working, arch support, space behind the support, passive bearing reaction, coefficient of soil reaction, method of finite elements.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАБУТОВКИ ЗАКРІПНОГО ПРОСТОРУ НА ПАСИВНИЙ ОПІР ПОРІД НАВКОЛО АРКОВОЇ ВИРОБКИ

Є. Павлов^{1}, Е. Фесенко¹*

¹*Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Маріуполь, Україна*

^{*}Відповідальний автор: dothent@ukr.net

Анотація. Методом кінцевих елементів вивчені закономірності зміни величини і зон пасивної відсічі рамного кріплення гірничої виробки при різних схемах навантаження в залежності від зміни щільності забутовки закріпного простору.

Обґрунтовано залежність щільності забутовки при різних схемах навантаження рамного кріплення на область і величину зміни пасивного опору порід. Показано як змінюється пасивний опір порід в залежності від жорсткості закріпного простору. Доведено оптимальний варіант способу вибуховою розвантаження порід покрівлі при якому забезпечується мінімальний розмір ділянки пасивного опору.

Наукова новизна полягає у вивченні закономірностей впливу щільності забутовки закріпного простору на пасивний опір порід навколо гірничих виробок арочної форми поперечного перерізу.

Результати досліджень щільності забутовки закріпного простору на пасивний опір порід навколо виробок можна враховувати при проектуванні і розрахунках кріплення гірничих виробок.

Ключові слова: підготовча виробка, арочне кріплення, закріпний простір, пасивний опір, коефіцієнт постелі, метод кінцевих елементів.

Вступ. При проведенні підземних гірничих виробок невід'ємною частиною процесу кріплення є забутовка простору між контуром гірничої виробки і рамним кріпленням різними матеріалами (дроблена гірська порода, сипучі матеріали, тампонажні розчини і ін.) для передачі навантажень з боку масиву гірських порід на кріплення. Наявність забутовки та її якість істотно впливають на працездатність рамного кріплення. У свою чергу, якість заповнення закріпного простору безпосередньо залежить від механізації цього процесу. Як показали дослідження [1], навколо кріплення виробки часто забутовки закріпного простору немає або спостерігається її погана якість, в наслідок того, що заповнення пустот закріпного простору не механізовано і у більшості випадків виконується вручну. В результаті, виникають порожнечі, нерівний контур виробки не примикає до кріплення, а породи, зміщуючись всередину виробки, створюють тиск на кріплення, вкрай нерівномірно розподілений по контуру. Цим зумовлена поява різних видів деформування і руйнування кріплення, що дуже помітно знижує стійкість виробки, приводячи до необхідності частих її ремонтів і перекріплення.

Численними дослідженнями [2] встановлено, що помітно підвищити працездатність кріплення можна шляхом ретельної забутовки закріпного простору. Однак технологія її виконання заснована на важкій і малопродуктивній ручній праці. За трудовими затратами в процесі кріплення роботи по забучуванню складають 35 ... 65% із загальної трудомісткості [3]. Запропоновані способи і засоби механізації забутовки не набули поширення через погану працездатність і громіздкість устаткування, його малу технологічність.

В роботі [4] представлений спосіб, який забезпечує рівномірне заповнення пустот закріпного простору і підвищує працездатність кріплення. Суть методу вибухового розвантаження порід покрівлі полягає в тому, що за рахунок правильного розміщення розвантажувальних шпурів навколо виробки можна забезпечити різні схеми навантаження на рамне кріплення з боку масиву, такі як рівномірно розподілене (рис. 1а), параболічне (рис. 1б) і навантаження по закону трикутника (рис. 1в), коли максимальне навантаження здійснюється на стійки кріплення, а мінімальне - на центр верхняка.

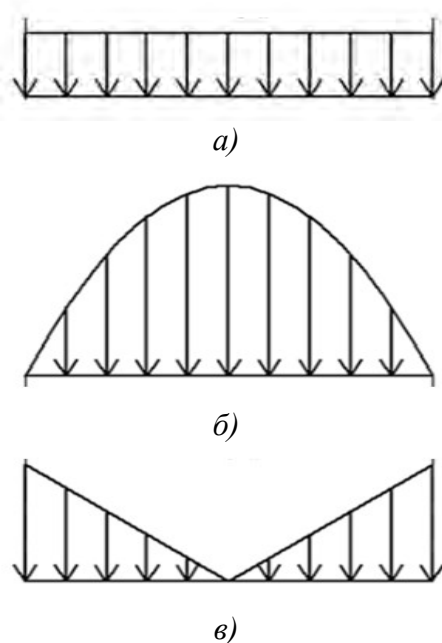


Рис. 1. Схеми розподілу навантаження на арочне кріплення внаслідок вибухового розвантаження

В процесі прояву гірського тиску в міру зростання зсувів порід покрівлі в тій частині периметра рами кріплення, яка зміщується в бік масиву і вступає в контакт з ним через забутовку закріпного простору, виникає пасивний опір порід. Останній перешкоджає деформаціям кріплення і тим самим значно підвищує його працездатність.

В роботі [5] досліджено вплив пасивного опору порід на працездатність аркового рамного кріплення і показано, що рамне кріплення виробок однієї і тієї ж конструкції може мати, залежно від реалізованої схеми прикладеного з боку масиву порід зовнішнього навантаження і забезпечення щільності контакту через забутовку закріпного простору, надзвичайно широкий діапазон коливань працездатності.

До теперішнього часу не розкриті питання, як впливає щільність забутовки закріпного простору на пасивний опір порід навколо виробок, тому **метою досліджень** є вивчення закономірності зміни пасивного опору порід навколо виробки при створенні забутовки закріпного простору способом вибухового розвантаження порід покрівлі в залежності від схеми навантаження на рамне кріплення. **Завдання дослідження** - встановлення залежності пасивного опору порід від щільності забутовки при різних схемах навантаження рамного кріплення. **Об'єкт дослідження** – забутовка закріпного простору рамного аркового кріплення, яка виконана за допомогою вибухового розвантаження порід, а **предмет дослідження** - пасивний опір порід в умовах змінюваної щільності закріпного простору і різного навантаження з боку масиву порід на рамне кріплення.

Для вирішення поставлених завдань використовувався метод кінцевих елементів, що реалізується за допомогою програмного комплексу «Ліра». Властивості породної забутовки виражалися через модель коефіцієнта постелі або модель Вінклера.

Коефіцієнт постелі іноді називають модулем пружності основи, іншими словами, забутовку закріпного простору, яка складається із зруйнованих порід масиву, можна розглядати як сукупність близько розташованих незалежних пружин заданої жорсткості. Отже, коефіцієнт постелі прирівнюється до жорсткості пружин 1 (рис. 2) і є мірою жорсткості забутовки закріпного простору, яка представляє собою зруйновані вибухом породи. Подібна ідеалізація цілком допустима і широко застосовується в інженерній практиці, зокрема при вирішенні задач про вигин балок на пружній основі.

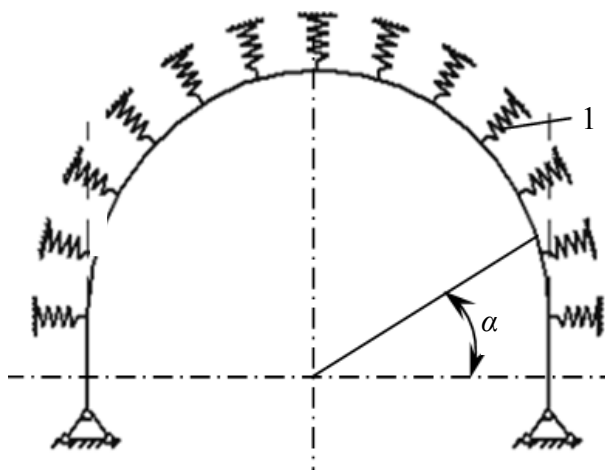


Рис. 2. Розрахункова схема кріплення з пасивним опором порід

Основне припущення моделі Вінклера відображається відомою пропорційною залежністю:

$$q(\alpha) = k_{II} \cdot U(\alpha),$$

де $q(\alpha)$ – нормальний тиск на ґрунтову основу в точці під кутом α (рис. 2), Н/м^2 ;
 k_{II} – коефіцієнт постелі, що характеризує жорсткість пружної основи, $\text{Н/м}^3 = \text{Па/м}$;
 $U(\alpha)$ – осідання основи в точці під кутом α площини контакту рами і основи, м.

В результаті досліджень [2], встановлено, що коефіцієнт пружного опору в виробках, де проводили тампонаж закріпного простору, можна приймати в середньому 500 МПа/м, при щільній забутовці закріпного простору – 300 МПа/м, при погано заповненому закріпному просторі – 25 МПа/м. Однак, такі результати можна розцінити як суто наближені і відповідні щільним монолітним основам з точним їх приляганням до кріплення, що забезпечити вкрай важко. У них не відображено різке (в десятки і сотні разів) зменшення жорсткості масиву, який зазнав вибухового розвантаження, особливо поблизу вільної поверхні - контуру виробки.

При дослідженні впливу пасивного опору на працездатність аркового кріплення авторами роботи [5] прийнято діапазон зміни коефіцієнта постелі в межах від 0 МПа/м (відсутність забутовки і опору порід) до 5 МПа/м. Подальше збільшення жорсткості забутовки (більше 5 МПа/м) суттєво не впливало на несучу здатність кріплення. На даному етапі досліджень прийнятий найпростіший випадок однорідної жорсткості забутовки, коли коефіцієнт постелі в зоні забутовки, що складається із зруйнованих порід, однаковий і коливається від 0 МПа/м до 5 МПа/м.

На графіках (рис. 3, 4) показано як змінюється пасивний опір порід по контуру кріплення від $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 90^\circ$ (див. рис. 2) в залежності від розвантаженої від напружень зони порід. Так при зосередженому навантаженні видно, що пасивний опір виникає від $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 60^\circ$ (рис. 3а), при вибуху одного заряду розпушування, пасивний опір виникає від $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 50^\circ$ (рис. 3б), під час вибуху двох зарядів розпушування, пасивний опір виникає від $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 35^\circ$ К 45° (рис. 4а) в залежності від величини пасивного опору, під час вибуху трьох зарядів розпушування, пасивний опір виникає від $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 50^\circ$ (рис. 4б). Можна помітити, що у всіх випадках пасивний опір походить від $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = 35^\circ$ К 55° , тобто до вузлів піддатливості кріплення.

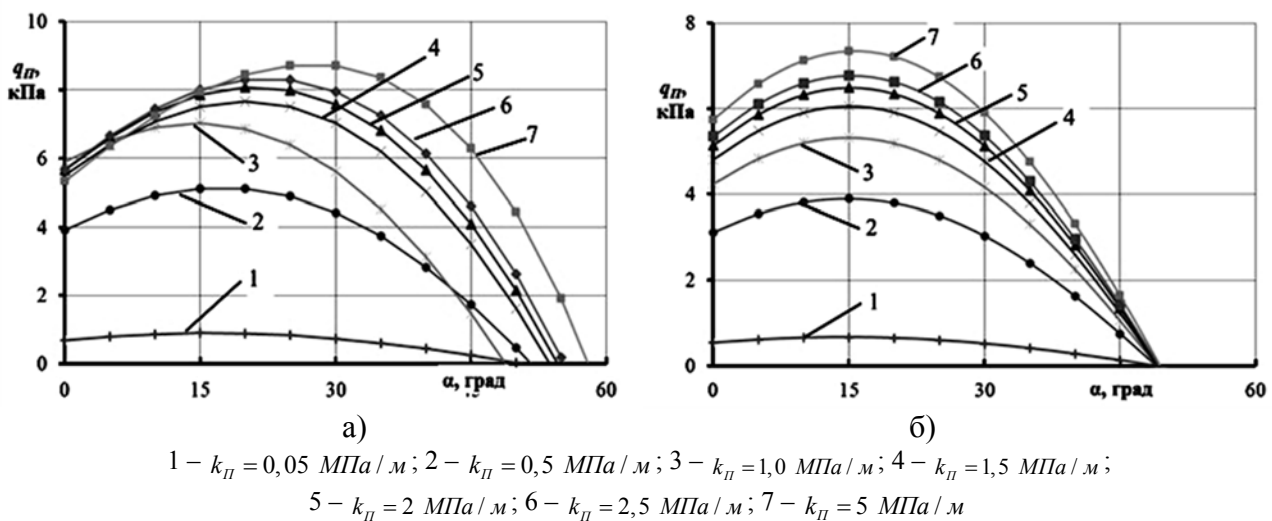
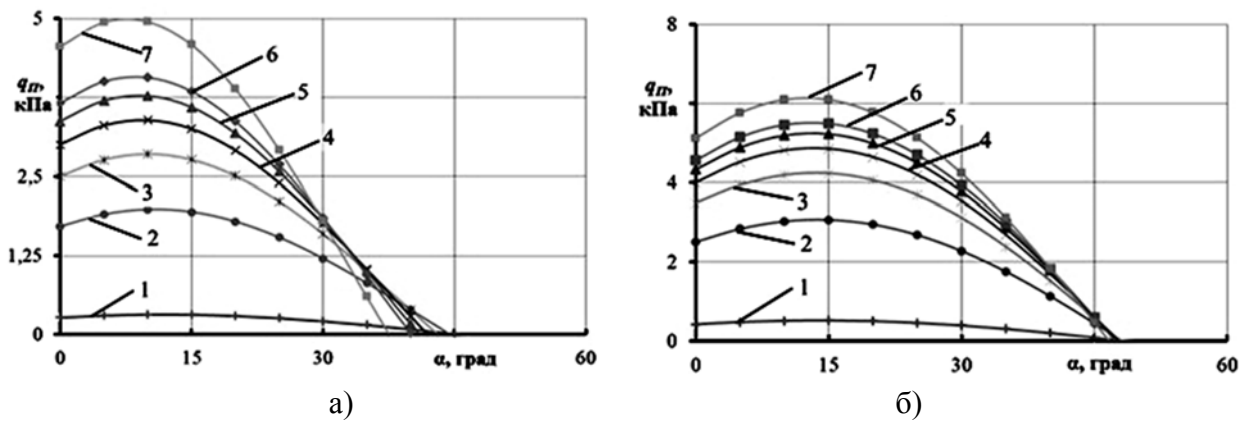


Рис. 3. Графіки залежності зміни пасивного опору порід від розвантаженої зони при зосередженому (а) і параболічному (б) навантаженні

Пасивний опір змінюється в залежності від жорсткості закріпного простору, яке описується коефіцієнтом постелі k_{II} . У міру збільшення коефіцієнта постелі від $k_{II} = 0,05 \text{ МПа/м}$ до $k_{II} = 5 \text{ МПа/м}$ пасивний опір під час вибуху двох (рис. 4а) зарядів розпушування з максимумом згинального моменту при $\alpha = 7^\circ$ зростає від $q_{II} = 0,3 \text{ КПа}$ до $q_{II} = 5 \text{ КПа}$.

Така особливість розподілу пасивного опору пояснюється тим, що під час вибуху двох зарядів вибухової речовини ділянки активного навантаження зміщені до області замків піддатливості ($\alpha = 45^\circ$). Всі інші схеми розподілу пасивного опору порід при інших схемах розвантаження показують велику нерівномірність деформації кріплення, а тому і малоефективні.

Узагальнюючи отримані результати у вигляді графіків пасивного опору порід, можна зробити висновок, що показником ефективності роботи кріплення є розмір ділянки пасивного опору. Чим ця ділянка менше, тим більш рівномірно завантажене рамне кріплення і тим вище його працездатність.



а) $1 - k_{II} = 0,05 \text{ МПа/м}; 2 - k_{II} = 0,5 \text{ МПа/м}; 3 - k_{II} = 1,0 \text{ МПа/м}; 4 - k_{II} = 1,5 \text{ МПа/м};$
б) $5 - k_{II} = 2 \text{ МПа/м}; 6 - k_{II} = 2,5 \text{ МПа/м}; 7 - k_{II} = 5 \text{ МПа/м}$

Рис. 4. Графіки залежності зміни пасивного опору від розвантаженої зони порід при навантаженні за законом трикутника (а) і рівномірно розподіленим (б)

Висновки:

1. Найбільш ефективним є розподіл навантаження на рамне кріплення згідно із законом трикутника (рис. 1в) при якому забезпечується мінімальний розмір ($0 \leq \alpha \leq 35^\circ$ – 45°) ділянки пасивного опору.

2. Показано, що найбільш оптимальним варіантом способу вибухового розвантаження порід покрівлі підривання двох зарядів розпушування в масиві з боку вузлів піддатливості рами кріплення [6], при якому забезпечується мінімальний розмір ділянки пасивного опору.

Acknowledgements

Робота виконана на основі власних досліджень без зовнішньої фінансової допомоги.

References

1. Павлов, Є. Є. (2009) Анализ негативных последствий переборов при проходке горных выработок. Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету, 28, 125–133.
Pavlov, YE. YE. (2009) Analiz nehatyvnykh naslidkiv pereborovshy pry prokhodtsi hirs'kykh vyrobok. Zbirnyk naukovykh prats' Donbas'ka derzhavnoho tekhnichnoho universytetu, 28, 125-133.
2. Шильман Е.А. (1982) Повышение устойчивости горных выработок путём безнапорного заполнения закрепного пространства тампонажным раствором. Шахтное строительство, 9, 16-18.
Shil'man Ye.A. (1982) Povysheniye ustoychivosti gornykh vyrabotok putom beznapornogo zapolneniya zakrepnogo prostranstva tamponazhnym rastvorom. Shakhtnoye stroitel'stvo, 9, 16-18.
3. Заславский, И. Ю., Компанец, В.Ф., Файвищенко, А.Г. & Клещенок В.М (1991) Повышение устойчивости подготовительных выработок угольных шахт. Москва: Недра.
Zaslavskiy, I. YU., Kompanets, V.F., Fayvishenko, A.G. & Kleshchenkov V.M (1991) Povysheniye ustoychivosti podgotovitel'nykh vyrabotok ugol'nykh shakht. Moskva: Nedra.
4. Литвинський, Г. Г. & Павлов, Є. Є. (2009) Повышение работоспособности рамной крепи путём взрывной разгрузки пород. Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету, 29, 12–20.
Litvins'kiy, H. H. & Pavlov, YE. YE. (2009) Pidvyshchennya pratsezdatsnosti ramnoho kriplennya shlyakhom vybukhovyyu rozvantazhennya porid. Zbirnyk naukovykh prats' Donbas'ka derzhavnoho tekhnichnoho universytetu, 29, 12-20.
5. Литвинський, Г. Г. & Павлов, Є. Є. (2009) Влияние пассивного отпора пород на работоспособность арочной рамной крепи. Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету, 30, 5–16.
Litvins'kiy, H. H. & Pavlov, YE. YE. (2009) Vplyv pasyvnoho oporu porid na pratsezdatsnist' arochnoyi ramnoyi krepі. Zbirnyk naukovykh prats' Donbas'ka derzhavnoho tekhnichnoho universytetu, 30, 5-16.
6. Литвинський, Г. Г. & Павлов, Є. Є. (2009). Патент України 48196. Київ: Державне патентне відомство України.
Litvins'kiy, H. H. & Pavlov, YE. YE. (2009). Patent Ukrayiny 48196. Kyiv: Derzhavne Patentne vidomstvo Ukrayiny.