

ГІРНИЦТВО MINING INDUSTRIES

УДК 622.83:622.272.3:622.268.6

Негрій С.Г.
Негрій Т.О.

УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТРАПЕЦІЄПОДІБНИХ ОХОРОННИХ СПОРУД

Обґрунтовується необхідність подальшої розробки ефективних ресурсозберігаючих засобів охорони підготовчих виробок, що передбачають зведення відокремлених конструкцій і залишення компенсаційних порожнин. Запропоновано застосування штучних охоронних споруд у формі трапецієподібних призм.

Встановлено, що при формі охоронних споруд у вигляді трапецієподібних призм, орієнтованих меншою бічною гранню до виробленого простору, сили, що виникають під опорами та видавлюють породи, діють у напрямку виробки і реалізуються в ній у вигляді здимання порід підосви. Для забезпечення експлуатаційного стану виробки необхідна орієнтація даних конструкцій меншою бічною гранню до виробки, що дозволить спрямувати сили, що видавлюють, у вироблений простір.

Штучні охоронні конструкції у вигляді трапецієподібних призм можуть споруджуватися з рядової породи й обмежуючих поверхонь (пошарово укладених перегородок з сітчастого матеріалу або стінок з мішків по периметру споруди). Їх застосування дозволить обмежити опускання покрівлі до 14-22%, що позитивно позначиться на стійкості виробки, що охороняється.

Ключові слова: засоби охорони, форма та орієнтація опори, метод скінчених елементів, фізичне моделювання, звичайна порода, обмежуючі поверхні.

Постановка проблеми. При відпрацюванні вугільних пластів на великих глибинах все більше уваги приділяється розробці ефективних ресурсозберігаючих способів охорони підготовчих виробок. Як правило, конструкції традиційних засобів охорони припускають їх стрічкове зведення уздовж виробок. В деяких випадках, для забезпечення експлуатаційного стану виробок, може бути доцільним спорудження на межі з виробленим простором відокремлених охоронних конструкцій різних форм і залишення між ними компенсаційних порожнин. Спорудження конструкцій з різноманітними спеціальними формами та залишення порожнин дозволяє спрямовувати сили, що діють з боку масиву, у заданому напрямку, що при стрічковому розміщенні суцільного засобу охорони було неможливо та є причиною інтенсивних зсувів порід в напрямку виробки. Але ці способи охорони недостатньо розповсюджені через наявність в різних наукових працях суперечливих результатів з їх використання, які обумовлені випробуваннями різноманітних конструкцій в різних умовах відпрацювання пластів. Тому необхідне проведення детальних досліджень щодо встановлення раціональної області застосування та оптимальних параметрів конструкцій.

Зв'язок з науковими і практичними результатами. Способи охорони, що передбачають спорудження відокремлених охоронних конструкцій і залишення компенсаційних порожнин, періодично застосовуються в умовах вугільних шахт Донбасу. Варто відзначити досвід охорони підготовчих виробок позаду лави вугільними ціликами трикутної [1] та трапецієподібної форм [2, 3], коли забезпечувались сприятливі умови підтримання покрівлі на кінцевих ділянках лав і сполученнях. Оформлення даних ціликів мало більше технологічне значення, тому що передбачалося винесення головки скребкового конвеєра у прилеглу виробку та її радіальне переміщення з посуванням лави. З віддаленням від очисного вибою трикутні цілики руйнувалися, оскільки мали невеликі розміри і недостатню несучу здатність [1], а при трапецієподібних ціликах – відмічався задовільний стан покрівлі та інтенсивні зміщення порід підосви у виробці і, як наслідок, на відстані 16÷20 м від лави здійснювалось її підривання на висоту 1,2 м [3]. Основним недоліком застосування цих технологій є експлуатаційні втрати вугілля та необхідність проведення ремонтних робіт, у тому числі, повторних підривань.

Запропоновані способи охорони з компенсаційними порожнинами між жорст-

кими спорудами [4], породними стійками [5] та породними опорами [6]. Ці способи припускають розміщення штучних споруд, які мають форму прямокутних паралелепіпедів або еліптичних циліндрів, великі вісі основ яких, перпендикулярні поздовжній вісі виробки.

В процесі випробувань жорстких споруд було відмічено погіршення стану покрівлі, обумовлене частковим руйнуванням опор, яке супроводжувалося полонками стійок і верхняків рам індивідуального кріплення, які знаходилися в компенсаційних порожнинах і навпаки них по запасного виходу з лави [4]. Але даний спосіб показав свою ефективність з точки зору стійкості підшви виробки.

Способи охорони породними стійками і опорами до теперішнього часу не пройшли дослідно-промислово перевірку, тому не можна безкомпромісно говорити про їх ефективність в конкретних умовах.

Таким чином, засоби охорони в формі трапецієподібних призм можна вважати найбільш прийнятними. При їх застосуванні забезпечується стійкість порід покрівлі на кінцевій ділянці лави та на сполученні з виробкою, що примикає. Але ж для зменшення зсувів порід підшви виробки при підтриманні її позаду лави, необхідне застосування спеціальних заходів щодо забезпечення стійкості підстиляючих порід.

Мета роботи. Вивчення умов застосування охоронних споруд в формі трапецієподібних призм і розробка заходів щодо забезпечення ефективного застосування даних конструкцій для охорони підготовчих виробок.

Основна частина. Інтенсивні зміщення порід підшви підготовчої виробки позаду очисного вибою при застосуванні технологічних ціликів в формі трапецієподібної призми, на нашу думку, обумовлено тим, що вони відіграють роль штампів, з-під яких видавлюються породи підшви в напрямку виробки. В цьому випадку, більш ефективними є штучні конструкції, які мають форму прямокутного паралелепіпеда та розташовуються більшою віссю перпендикулярно осі виробки [4]. Тобто визначальними параметрами є форма охоронних конструкцій, а також їх орієнтація відносно виробки. Тоді забезпечується спрямування сил, що видавлюють, у бік виробки, компенсаційних порожнин або виробленого простору.

Раніше нами проводилися дослідження механізму видавлювання порід з-під охоронних споруд трикутної, прямокутної та круглої форм [7]. Прямокутна форма виявилася найкращою в умовах слабких порід, але для опор з основами в формі трапеції такі дослідження не проводилися.

Для вивчення механізму видавлювання слабких порід з-під охоронної конструкції трапецієподібної форми доцільне застосування чисельних методів, зокрема методу скінченних елементів, який може застосовуватися при розрахунку напружено-деформованого стану в різних середовищах, в тому числі дискретних, до яких можна віднести гірничий масив [8-12].

Для моделювання механічних процесів в гірських породах нами була прийнята система аналітичного проектування SolidWorks [13] та вирішена задача статички в лінійній постановці за допомогою пакета кінцево-елементного аналізу CosmosWorks. Створена модель, загальний вигляд якої показаний на рисунку 1.

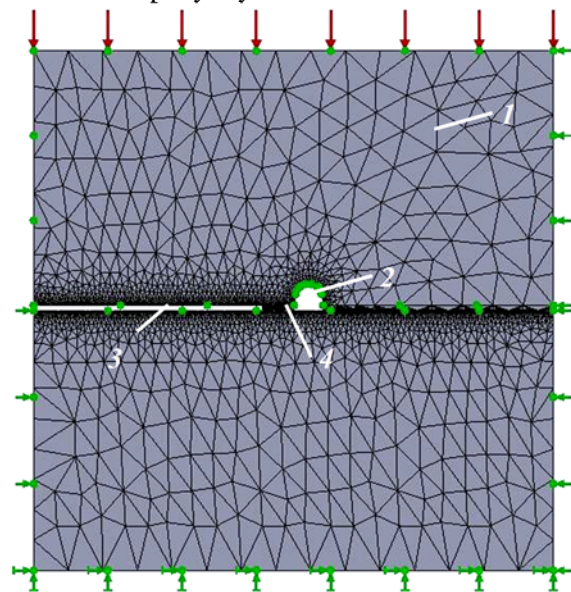


Рис. 1. Загальний вигляд кінцево-елементної моделі

Моделювався породний масив 1 розміром $175 \times 150 \times 36$ м, в якому передбачалося проведення гірничої виробки 2 та виймання вугільного пласту з одного боку від неї та з залишенням на межі з виробленим простором 3 опор трапецієподібної форми 4.

Вихідними даними для моделювання прийнято типові умови для глибоких шахт українського Донбасу, що відпрацьовують пласти пологого падіння [14]: модуль пруж-

ності $E=1,3 \times 10^8 \text{ кг/м}^2$, об'ємна маса $\gamma=2,3 \text{ т/м}^3$, межі міцності на одновісний стиск і розтягнення склали, відповідно, $\sigma_{сж}=24,5 \text{ МПа}$ і $\sigma_p=2,5 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,25$.

В процесі моделювання була згенеровано сітку з параметрами:

- тип сітки - «Сітка на твердому тілі»;
- розбиття типу - «Стандартна сітка»;
- розмір елемента-5,22725 м з допуском 0,784086 м;
- всього вузлів - 24756;
- всього елементів - 161604;
- всього ступенів свободи - 739545;
- максимальне співвідношення сторін - 5,08.

Відсоток сторін із співвідношенням менше ніж 1:3 складає 98,4%. Відсоток сторін із співвідношенням більше ніж 1:10 становить 0%, що свідчить про якісну, рівномірної розбивки сітки.

В областях моделі, прилеглих до виробленого простору та виробки, було застосовано управління сіткою «Деталізація» з такими параметрами: тип сітки - «Сітка на твердому тілі»; розмір елемента - 0,261362 м зі співвідношенням сторін 1,5:1.

При відпрацюванні моделі було встановлено, що при формі охоронних споруд у вигляді трапецієподібних призм, які орієнтовані меншою бічною гранню до виробленого простору сили, що виникають під опорами, діють в напрямку виробки та компенсаційних порожнин (рис. 2). У виробку зміщення від дії опори поширювалися на відстань $0,43h$ (де h - висота трапеції, що знаходиться в основі опори). У напрямку виробленого простору зміщення поширюються на величину $0,08h$. Виходячи з цього, можна зробити висновок про те, що даний спосіб не забезпечує необхідного технічного результату. Тобто при розміщенні ціликів у формі трапецієподібних призм вузькою бічною гранню до виробленого простору, а протилежною їй гранню до виробки будуть спостерігатися в ній інтенсивні зсуви порід під дошви. Цілики працюють як штампи, під дією навантаження на верхню грань втрачають свою стійкість внаслідок першочергового продавлювання своєю основою порід під дошви з боку вужчої бічної грані, тим самим, спрямовують породи, які їх підстиляють, у сторону виробки.

З точки зору стійкості виробки, цілики повинні розташовуватися вузькою гранню до

виробки, що дозволить перенаправити зміщення у вироблений простір, але в цьому випадку виникнуть технологічні складнощі при веденні очисних робіт, пов'язані з неможливістю виносу головки лавного конвеєра

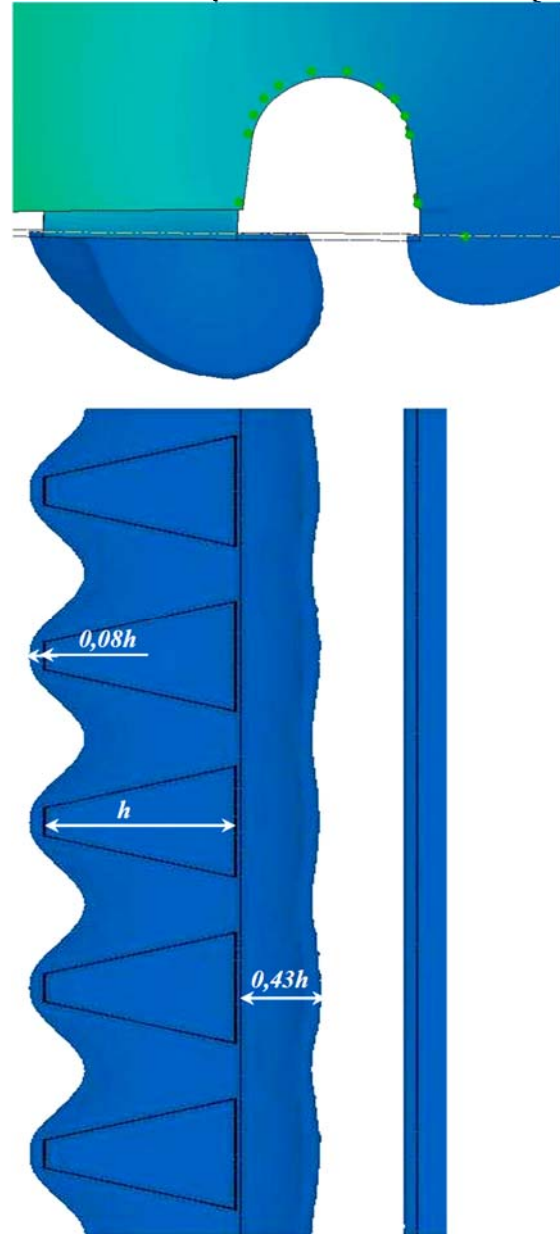


Рис. 2. Картина розподілу напружень навколо охоронних споруд у формі трапецієподібних призм

у виробку. Тобто застосовувана технологія доцільна біля сполучення лави, але неефективна позаду нього. Тому, одним з рішень могло б бути залишення тимчасових технологічних ціликів по шахтній технології на ділянці, що відноситься до сполучення, з закладанням порожнин і подальшим вийманням ціликів. Тоді виникає необхідність в

якісній закладці порожнин і забезпеченні стійкості породних опор, що залишаються та які повинні згодом виконувати функції штучних конструкцій для охорони виробки позаду лави. Ці конструкції після виймання ціликів будуть схожі на трапецієподібні призми та будуть орієнтовані меншою гранню до виробки, що їй необхідно для зменшення зсувів порід підосви виробки та виключення подальших подривань при її експлуатації. Тоді основним завданням є створення стійких штучних опор, які будуть зберігати задану форму на межі між виробкою й виробленим простором.

Стійкість даних породних конструкцій, на нашу думку, може бути забезпечена застосуванням огорожувальних поверхонь, якими можуть бути сітчасті конструкції (рис. 3а, 4) [6], мішки з породою (рис. 3б, 5) [5] або породні опори (рис. 3в), що оконтурені оболонкою. Але для підтвердження можливості забезпечення стійкості даних конструкцій необхідно проведення їх випробувань. Для цього можна скористатися методами фізичного моделювання, які дозволяють досліджувати механічні процеси, що відбуваються в породних конструкціях, при дотриманні умов подібності [12, 15-19].

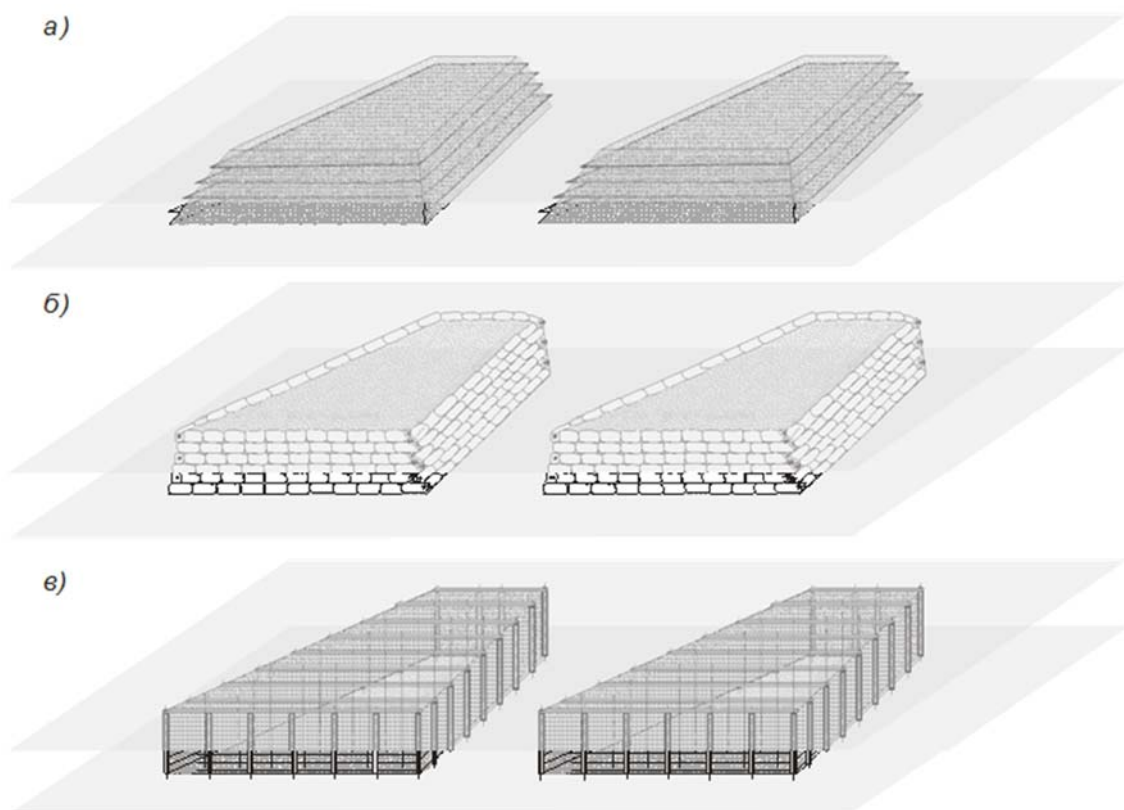
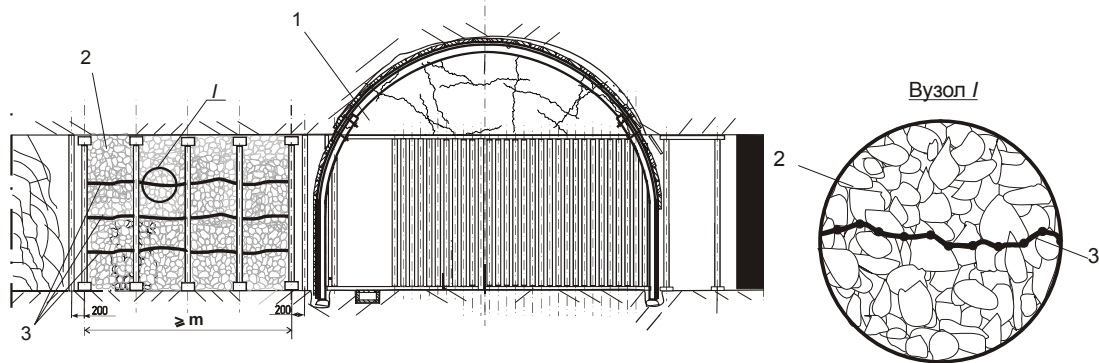


Рис. 3. Загальний вигляд породних конструкцій у формі трапецієподібних призм з обмежувальними поверхнями: а- металевими сітками, б-мішками, в- спеціальною оболонкою і дерев'яними стійками

З дотриманням умов подібності: геометричного, силового та механічних характеристик були підготовлені структурні моделі опор з рядової породи та обмежувальних елементів, про які вказувалося раніше (рис. 6), а також опори без них (рис. 6а). Для створення опор у формі трапецієподібних призм вони попередньо поміщалися в опалубку. В їх основах була трапеція висотою 0,18 м, а паралельні протилежні

сторони довжиною 0,09 та 0,18 м. Висота опор становила 0,087 м.

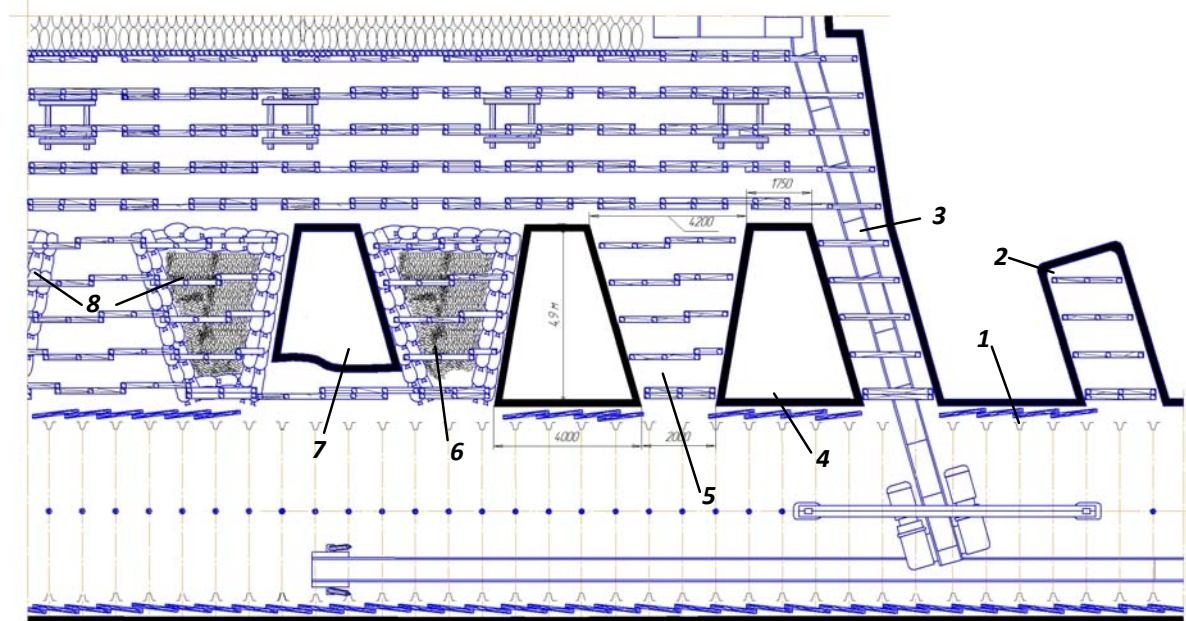
Однакові умови засипки даних об'ємів дозволили моделювати різні породні опори з однаковими щільнісними характеристиками. Був прийнятий масштаб моделювання 1:10. Таким чином, опори в переведенні на натуру мали розмір 0,9×1,8×1,8×0,87 м. В опори містилася порода з фракціями розміром 1÷10мм (в натурі 0,01÷0,1м).



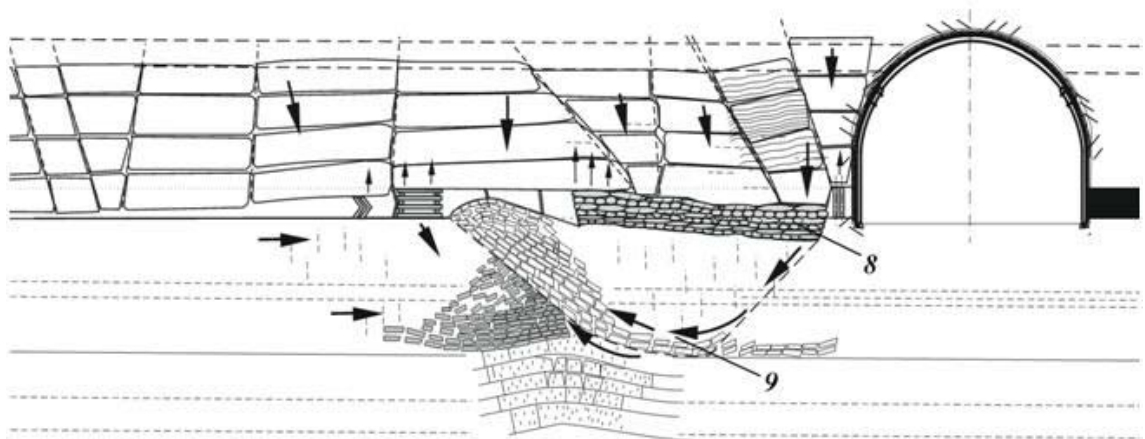
1- виробка, 2- рядова порода, 3- перегородки з сітчастого матеріалу

Рис. 4. Загальний вигляд засобу охорони, що зводиться з рядової породи та конструкцій з сітчастого матеріалу

а)



б)



1- гірничя виробка, 2- просік, 3- скребковий конвеєр, 4- цілик, 5- порожнини між ціликами, 6- штучна охоронна споруда, що викладається, 7- цілик вугілля, що виймається, 8- охоронна споруда у формі трапецієподібної призми, 9- породи підшви під охоронною спорудою

Рис. 5. Технологічна схема охорони підготовчої виробки спорудами з рядової породи та мішків (а) і картина зсувів порід підшви під охоронною спорудою, яка у формі трапецієподібної призми з орієнтацією меншою бічною гранню до виробки (б) .

а)



б)



в)



г)



Рис. 6. Загальний вигляд породних конструкцій у момент їх зведення

У моделях з сітчастими конструкціями проводилася:

- пошарова засипка породи з укладанням 3-ох металевих сіток між шарами (рис. 6б);

- викладка стінок з тканинних мішків та заповнення породою внутрішнього обсягу (рис. 6в);

- укладання поліетиленової стрічки, встановлення дерев'яних стійок по внутрішньому периметру опалубки та заповнення об'єму породою (рис. 6 г).

Після знімання опалубки породні конструкції поетапно навантажувались силами до 14 кН з періодичною фіксацією висоти опор. Відпрацювання моделей (рис. 7) дозволило отримати результати, які можуть бути основою для розробки ефективних способів охорони виробок і обґрунтування їх параметрів (рис. 8-12).

Встановлено, що під дією навантаження породний об'єм при різних конструкціях деформується неоднаково, причому найменша піддатливість була відзначена при укладанні металевих сіток, а найбільша – без обмежуючих елементів. Якщо говорити про конструкції з обмежуючими поверхнями, то більш піддатливою була конструкція з оболонкою та дерев'яними стійками (рис. 12).

В об'ємі без обмежуючих поверхонь усадка склала 60%, при цьому породна насипка рівномірно розподілилася у різні боки та не зберігала своєї первісної форми у основі (рис. 8). Ця конструкція отримала найбільшу усадку вже при навантаженні 10 кН, після чого її деформації повністю припинилася та вона була подібна жорсткій охоронній споруді.

При оконтурюванні конструкції стрічкою та стійками величина усадки була у 1,7 рази менше (рис. 12) та склала 36%. Її основа після випробування прийняла форму овалу (рис. 11). Як видно з графіка (рис. 12), швидкість усадки конструкції була практично постійною і затування зсувів не відзначалося. Тому подальше збільшення величини навантаження могло супроводжуватися подальшою усадкою.

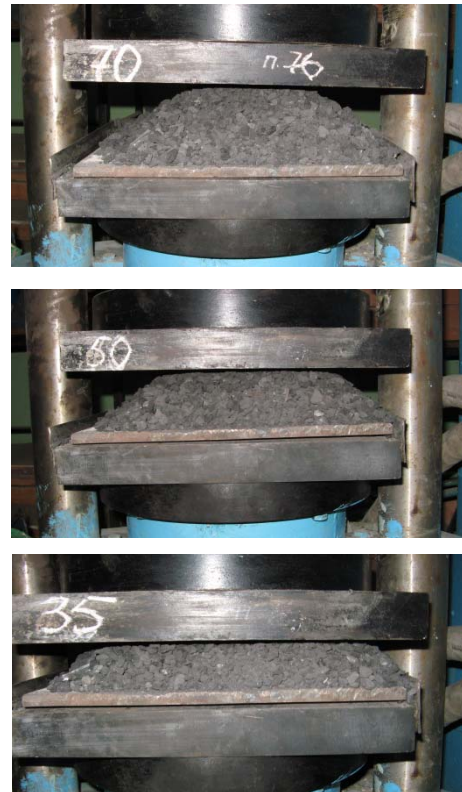
Конструкції з мішками та сітками після навантаження зберігали у основах явно виражені форми трапеції (рис. 9, 10), а їх усадка становила 14 і 22% (рис. 12), відповідно, при укладанні сіток і зведенні мішків.



Рис. 7. Загальний вигляд моделей породних конструкцій перед відпрацюванням

При випробуваннях конструкцій з металевими сітками відбувалася її пошарова усадка та висипання породних часток з периферійних зон по периметру кожного шару (рис. 9). Проте, ця конструкція забезпечила найбільший опір навантаженням, які на неї надавались.

Спорудження конструкцій зі стінками з мішків та породою дозволило створити досить стійкі опори (рис. 10), але з огляду на те, що всередині них була порода у вільній насипці, матеріал у мішках попередньо не



вид зверху після навантаження

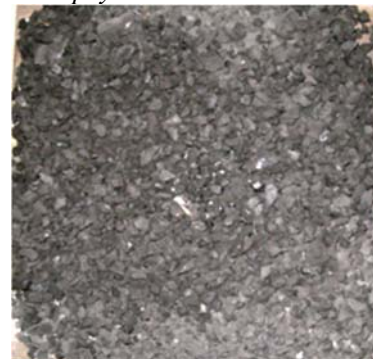
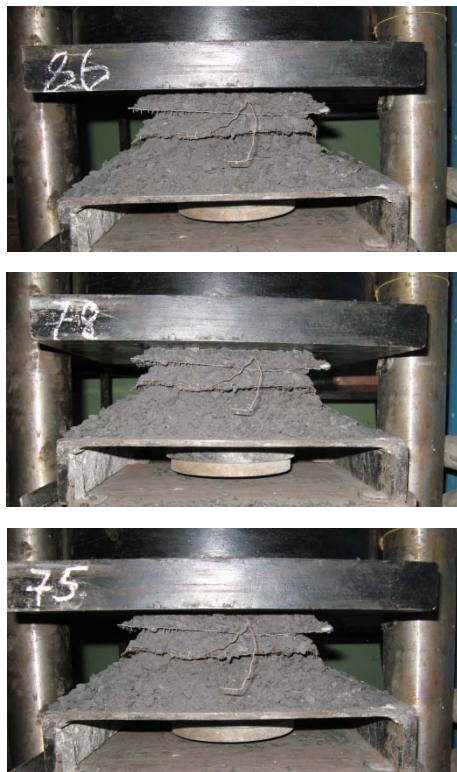


Рис. 8. Загальний вигляд породного об'єму без обмежуючих поверхонь

ущільнювався, то на початковому етапі відбувалася їх інтенсивна усадка (до 20% від початкової висоти), після чого відбулося уповільнення зсувів і повне затухання при піддатливості 22% (рис. 12).

Таким чином, використання у опорах з рядової породи обмежуючих поверхонь дозволяє забезпечити стійкі відокремленні породно-несучі конструкції, застосування яких може забезпечити опускання покрівлі до 14-22%, що позитивно позначиться на стійкості виробки, яку вони охороняють.

Позитивні результати випробувань моделей з металевими сітками пояснюються тим, що при пошаровому укладанні сітчастих конструкцій з міцного матеріалу (рис. 4)



вид зверху після навантаження



Рис. 9. Загальний вигляд породної опори, яка армована металевими сітками

збільшується зчеплення у охоронній споруді за рахунок шорсткості обмежуючих поверхонь. Також за рахунок здатності поверхонь змінювати форму у залежності від нерівностей породного об'єму збільшується площа їх контакту з породними фракціями.

Ефективність застосування стінок з мішків пояснюється тим, що породний об'єм приймає навантаження від масиву (рис. 5), що нависає, за рахунок перепакування та ущільнення породних часток, які обмежені підпирними стінками з мішків. Тобто усередині конструкції утворюється ущільнений об'єм, який має обмежену піддатливість і здатний протистояти чинним навантаженням.



вид зверху після навантаження



Рис. 10. Загальний вигляд породної опори зі стінками з мішків

Висновки. Таким чином, конструкції з пошарово укладеними перегородками з сітчастого матеріалу або стінками з мішків по периметру споруди дозволяють досягти обмеженої піддатливості та забезпечити стійкі форми.

Надалі їх можна розглядати, як штучні засоби охорони, що можуть зберігати задану стійку форму та застосовуватися для охорони підготовчих виробок позаду очисного забою.

При експлуатації конструкцій у формі трапезієподібних призм, за рахунок їх спеціального розміщення щодо виробок, буде забезпечуватися утримання порід покрівлі, переспрямування сил у компенсаційні порожнини та вироблений простір.

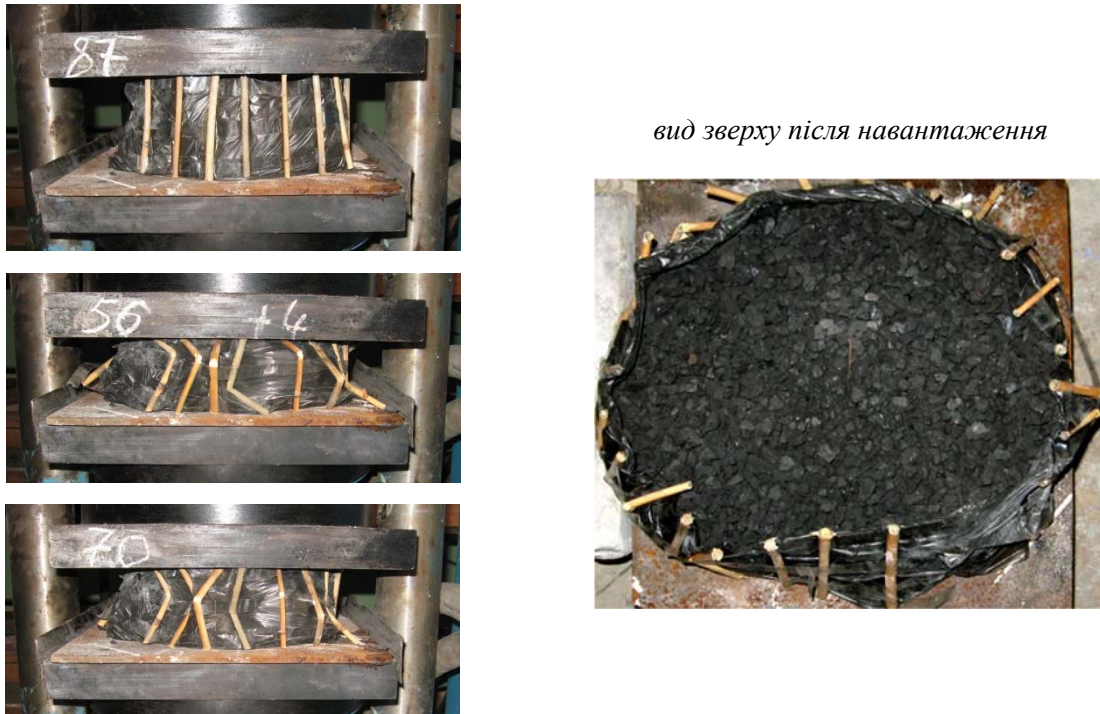
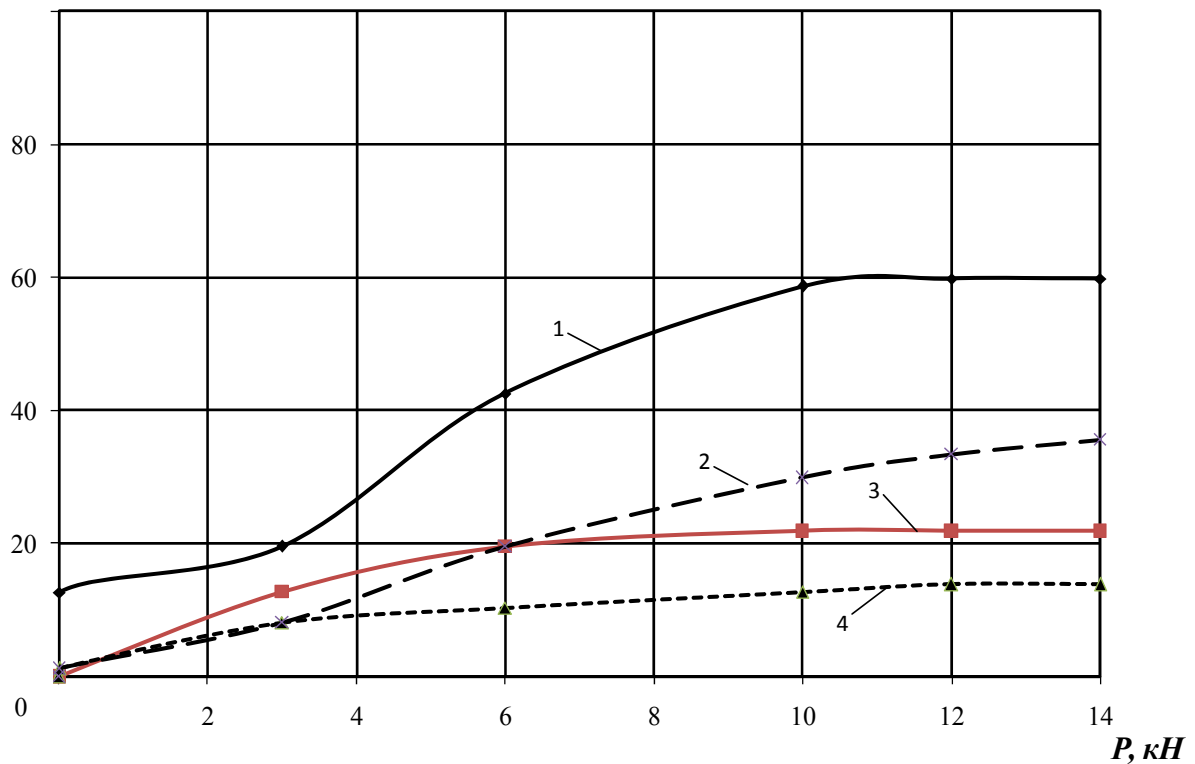


Рис. 11. Загальний вигляд породного об'єму, який обмежений стрічкою та дерев'яними стійками

$\Delta h/h, \%$



1- без обмежувачих поверхонь,
2, 3 й 4 - відповідно, в оболонці, посилені мішками й армовані сітками

Рис. 12. Графіки залежності відносної усадки випробовуваних охоронних споруд від величини навантаження для конструкцій/

Список літератури

1. Курченко И.П. Надежность работы комплексно-механизированного забоя в сложных горно-геологических условиях // Уголь Украины, 1980, №4. – С. 18-19.
2. Негрей С.Г., Негрей Т.А., Курдюмов Д.Н. Поддержание выемочных выработок для обеспечения их эксплуатационного и безаварийного состояния // Вісті Донецького гірничого інституту. Донецьк, 2013, №1 (32) – С. 218-225.
3. Борзых А.Ф., Офицеров С.П. Формирование технологических целиков для охраны прилегающих к лаве выработок // Уголь Украины, 2005, №2. – С. 12-14.
4. Касьян Н.Н., Мокриенко В.Н., Сахно И.Г. Опыт-но-промышленная проверка способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями в условиях шахты «Щегловская-Глубокая» // Науковий вісник НГУ. Дніпропетровськ, 2012, №6. – С. 30-36.
5. Негрей С.Г. Определение параметров комбинированного охранного сооружения из рядовой породы // Вісті Донецького гірничого інституту. Покровськ, 2015, №1(36)-2(37). – С. 23-32.
6. Негрей С.Г. О возможности создания устойчивых породных опор для обеспечения эксплуатационного состояния подготовительных выработок // Вісник НТУ «КПІ» Серія «Гірництво». Київ, 2017, вип. 33. – С. 21-30 (doi:10.20535/2079-5688.0.33.98824).
7. Мокриенко В.Н., Негрей С.Г., Курдюмов Д.Н. Изучение влияния формы охранного сооружения, возводимого вслед за лавой, на механизм смещений подстилающих пород // Записки горного института. Сб. научных трудов. Санкт-Петербург, 2012, Т.199. – С.176-179.
8. Tao Xu, Tian-hong Yang, Chong-feng Chen, Hong-lei Liu, Qing-lei Yu. Mining induced strata movement and roof behavior in underground coal mine / Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, 2015, Volume 1, Issue 3-4, – pp. 79-89. (doi 10.1007/s40948-015-0010-2).
9. Yang Yu, Shen-en Chen, Ka-zhong Deng, Hong-dong Fan. Long-Term Stability Evaluation and Pillar Design Criterion for Room-and-Pillar Mines / Energies, 2017, № 10(10), 1644 (doi:10.3390/en10101644).
10. V.F. Demin, O.B. Fofanov, T.V. Demina, V.V. Yavorskiy. Anchoring of development workings in a zone of influence of mining in case of the level anchoring system / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, Vol. 177, conference 1, 012041 (doi:10.1088/1757-899X/177/1/012041).
11. Xuguang Chen, Yuan Wang, Yu Mei, Xin Zhang. Numerical Simulation on Zonal Disintegration in Deep Surrounding Rock Mass / The Scientific World Journal, 2014, №1: 379326 (doi:10.1155/2014/379326).
12. С.М. Гапеев, Н.В. Хозяйкина, Р.М. Терещук, В.В. Коваленко. Ресурсозберігаючі технології управління стійкістю протяжних виробок вугільних шахт: Монографія / МОН України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро: НГУ, 2016. – 181 с.
13. Алямовский А.А. SolidWorks/ COSMOS-Works. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М. / ДМК Пресс, 2004. – 432с.
14. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. Под ред. Н.В. Мельникова, В.В. Раевского, М. М. Протодяконова- М. «Недра» 1975.– 219с.
15. Сучасні проблеми проведення та підтримання гірничих виробок глибоких шахт / Під заг.ред. С.В.Янко.– Донецьк: ДУНВГО, 2003.– 256с.
16. Hongwei Wang, Yaodong Jiang, Sheng Xue, Lingtao Mao, Zhinan Lin, Daixin Deng, Dengqiang Zhang. Influence of fault slip on mining-induced pressure and optimization of roadway support design in fault-influenced zone / Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2016, № 8– pp. 660-671.
17. Rui Gao, Bin Yu, Hongchun Xia, Hongfei Duan. Reduction of Stress Acting on a Thick, Deep Coal Seam by Protective-Seam Mining / Energies, 2017, № 10, 1209; (doi:10.3390/en10081209).
18. Bin Yu. Behaviors of overlying strata in extra-thick coal seams using top-coal caving method / Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2016, № 8– pp. 238-247.
19. Nan Zhou, Jixiong Zhang, Hao Yan, Meng Li. Deformation Behavior of Hard Roofs in Solid Backfill Coal Mining Using Physical Models / Energies, 2017, № 10, 557 (doi:10.3390/en10040557).

References

1. Kurchenko I.P. (1980). The reliability of fully-mechanized working face in difficult geological conditions [*Nadezhnost raboty kompleksno-mekhanizirovannogo zaboya v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh*] / Coal of Ukraine, No. 4, pp. 18-19 (in Russian).
2. Negrey S., Negrey T. and Kurdiunow D. (2013). “Maintenance of extraction workings for supplying of their operational and accident-free conditions” [*Podderzhanie vyiemochnykh vyrobotok dlya obespecheniya ih ekspluatatsionnogo i bezavariynogo sostoyaniya*] / Journal of Donetsk Mining Institute, No. 1(32), pp. 218-225 (in Russian).
3. Borzykh A.F. and Ofitserov S.P. (2005). Formation of the technological pillars for the protection surrounding the lava mines [*Formirovaniye tekhnologicheskikh tselikov dlya okhrany prilegayushchikh k lave vyrobotok*] / Coal of Ukraine, No. 2, pp. 12-14 (in Russian).
4. Kasyan N.N., Mokrienko V.N. and Sakhno I.G. (2012). “Experimental-industrial verification of maintenance method using rigid constructions with countervailing cavities in the mine “Scheglovskaya-Glubokaya” [*Opyitno-promyishlennaya proverka sposoba ohranyi vyrobotki zhestkimi sooruzheniyami s kompensatsionnyimi polosyami v usloviyah shahtyi “Scheglovskaya-Glubokaya”*] / Scientific Bulletin of National Mining University, No. 6, pp. 30-36 (in Russian).
5. Negrey S. (2015). Defining the parameters of the combined protecting construction where we use the ordinary rocks [*Opredelenie parametrov kombinirovannogo ohrannogo sooruzheniya iz ryadovoy porodyi*] / Journal of Donetsk Mining Institute, No. 1 (36)-2(37), pp. 23-32 (in Russian).
6. Nehrii S. (2017). About possibility of creation of stable rock pillars to ensure the operational status of the preparatory workings [*O vozmozhnosti sozdaniya ustoychiviykh porodnykh opor dlya obespecheniya ekspluatatsionnogo sostoyaniya podgotovitelnykh vyrobotok*] / Herald of National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. Series of Mining, Issue 33, pp. 21-30 (doi:10.20535/2079-5688.0.33.98824) (in Russian).
7. Mokrienko V., Negrey S. and Kurdiunow D. (2012). Study of the influence of the form of security structures erected lava following on the mechanism underlying it rocks displacement [*Izuchenie vliyaniya formy*

ohrannogo sooruzheniya, vozvodimogo vsled za lavoy, na mehanizm smescheniy podstilyayuschih porod] / Proceedings of Mining Institute, vol. 199, pp. 176-179 (in Russian).

8. Tao Xu, Tian-hong Yang, Chong-feng Chen, Hong-lei Liu and Qing-lei Yu (2015). Mining induced strata movement and roof behavior in underground coal mine / Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, Volume 1, Issue 3-4, pp. 79-89. (doi:10.1007/s40948-015-0010-2).

9. Yang Yu, Shen-en Chen, Ka-zhong Deng and Hong-dong Fan (2017). Long-Term Stability Evaluation and Pillar Design Criterion for Room-and-Pillar Mines / Energies, No. 10(10), 1644 (doi:10.3390/en10101644).

10. V F Demin, O B Fofanov, T V Demina and V V Yavorskiy (2017). Anchoring of development workings in a zone of influence of mining in case of the level anchoring system / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 177, conference 1, 012041 (doi:10.1088/1757-899X/177/1/012041).

11. Xuguang Chen, Yuan Wang, Yu Mei and Xin Zhang (2014) Numerical Simulation on Zonal Disintegration in Deep Surrounding Rock Mass / The Scientific World Journal (1): 379326 (doi:10.1155/2014/379326).

12. Hapieiev S.M., Khoziaikina N.V., Tereshchuk R.M. and Kovalenko V.V. (2016). Resource-saving technologies for controlling the stability of extended workings of coal mines [Resursozberihaiuchi tekhnolohii upravlinnia stiikistiu protiaznykh vyrobok vuhilnykh shakht] / National Mining University, 181 p. (in Ukrainian).

13. Alyamovskiy A.A. (2004). SolidWorks/ COSMOSWorks. Engineering analysis using finite element

method [SolidWorks/ COSMOSWorks. Inzhenernyy analiz metodom konechnykh elementov], Press, 432 p. (in Russian).

14. Melnikov N.V., Rayevskiy V.V., Protodiakonov M.M. and others (1975). Handbook (cadastre) of physical properties of rocks [Spravochnik (kadastr) fizicheskikh svoystv gornykh porod], "Nedra", 219 p. (in Russian).

15. Yanko S.V. and others (2003). Modern problems of conduct and maintenance of mine workings in deep mines [Suchasni problemy provedennya ta pidtrymanna hirnychykh vyrobok hlybokykh shakht] DIMU, 256 p. (in Ukrainian).

16. Hongwei Wang, Yaodong Jiang, Sheng Xue, Lingtao Mao, Zhinan Lin, Daixin Deng and Dengqiang Zhang (2016). Influence of fault slip on mining-induced pressure and optimization of roadway support design in fault-influenced zone / Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, No. 8, pp. 660-671.

17. Rui Gao, Bin Yu, Hongchun Xia and Hongfei Duan (2017). Reduction of Stress Acting on a Thick, Deep Coal Seam by Protective-Seam Mining / Energies, No. 10, 1209; (doi:10.3390/en10081209).

18. Bin Yu (2016) Behaviors of overlying strata in extra-thick coal seams using top-coal caving method / Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, No. 8, pp. 238-247.

19. Nan Zhou, Jixiong Zhang, Hao Yan and Meng Li (2017) Deformation Behavior of Hard Roofs in Solid Backfill Coal Mining Using Physical Models / Energies, No. 10, 557 (doi:10.3390/en10040557).

Надійшла до редакції 28.10.2017

Рецензент д-р. техн. наук, проф. С.М. Александров

Негрій Сергій Григорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Розробка родовищ корисних копалин» Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна)

Email: serhii.nehrii@donntu.edu.ua

Негрій Тетяна Олександрівна – старший викладач кафедри «Охорона праці» Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна)

Email: tetiana.nehrii@donntu.edu.ua

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАПЕЦИЕВИДНЫХ ОХРАННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Обосновывается необходимость дальнейшей разработки эффективных ресурсосберегающих средств охраны подготовительных выработок, предусматривающих возведение отдельностоящих конструкций и оставление компенсационных полостей. Предложено применение искусственных охранных сооружений в форме трапециевидных призм.

Установлено, что при форме охранных сооружений в виде трапециевидных призм, ориентированных меньшей боковой гранью к выработанному пространству, выдавливающие силы, возникающие под опорами, действуют в направлении выработки и реализуются в виде пучения пород почвы. Для обеспечения эксплуатационного состояния примыкающей выработки необходима ориентация данных конструкций меньшей боковой гранью к выработке, что позволит перенаправить выдавливающие силы в выработанное пространство.

Искусственные охранные конструкции в виде трапециевидных призм могут сооружаться из рядовой породы и ограничивающих поверхностей (послойно уложенных перегородок из сетчатого материала или стенок из мешков по периметру сооружения). Их применение позволит ограничить опускание кровли до 14-22%, что положительно скажется на устойчивости охраняемой выработки.

Ключевые слова: средства охраны, форма и ориентация опоры, метод конечных элементов, физическое моделирование, рядовая порода, ограничивающие поверхности

Негрей Сергей Григорьевич – кандидат технических, доцент, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет» (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Украина)

Email: serhii.nehrii@donmtu.edu.ua.

Негрей Татьяна Александровна – старший преподаватель кафедры «Охрана труда» Государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет» (пл. Шибанкова, 2, г. Покровск, 85300, Украина)

Email: tetiana.nehrii@donntu.edu.ua.

CONDITIONS OF USE TRAPEZOIDAL SECURITY INSTALLATIONS

Annotation. The necessity of further development of resource-efficient means of protection of preparatory workings, involving the construction of detached structures and abandonment of the compensation cavities. It is proposed the use of artificial protective structures in the form of trapezoidal prisms.

It is established that in the form of security structures in the form of trapezoidal prisms oriented lower side to the worked-out space, extrusion forces that arise from the legs, act towards and implemented in the form of heaving rocks of the soil. To ensure operational condition attached to develop the required orientation of these structures smaller side to develop, which will redirect extrusion forces in the emerging space.

Artificial security constructions in the form of a trapezoidal prism can be constructed from ordinary rocks and bounding surfaces (walls stacked layers of a mesh material or walls of sandbags around the perimeter of the structure). Their use will help to limit the lowering of the roof to 14-22%, which will have a positive impact on the sustainability of the adjacent excavation.

Key words: the ways of protection, the form and orientation of the support, Finite element method, physical modeling, the limiting surfaces.

Nehrii Serhii – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Public higher education institution Donetsk National Technical University (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine)

Email: serhii.nehrii@donmtu.edu.ua.

Nehrii Tetiana – Senior Lecturer, Public higher education institution Donetsk National Technical University (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine)

Email: tetiana.nehrii@donntu.edu.ua.