

**PRACTICAL JUSTIFICATION OF EFFECTIVENESS  
DOWNHOLE EXPLOSIVE CHARGE  
WITH VARIABLE SPECIFIC ENERGY EXPLOSION**

**Yu. Chebenko**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

Characterized mining and geological conditions of quarries, which were tested with downhole explosive charges of varying specific energy of the explosion. Grounded theoretical framework and practically confirmed that the regulation of the specific energy of the explosion on contact "charge BB-breed" is due to the introduction of technology of downhole formation of explosive charges in polypropylene or polyethylene sleeves of varying diameter at shoulder height (step-shaped and made narrower in length).

**Key words:** explosives, the specific energy of the explosion, borehole charges, the quality of rock crushing.

REFERENCES

1. Efremov E.I. Managing the size of the overgrinding zone of rocks at their explosive destruction // Transactions of Kryviy Rig Technical University. – Kryviy Rig: KTU, 2007. – Iss. 18 – PP. 36–39. [in Russian]
2. Influence of the type of explosives and blasting conditions on overgrinding of nonmetallic minerals: Materials of international conference "Miners Forum-2010" / EI Efremov E.I. Komir V.M., Chebenko V.N., Romashko A.M. – Dnipropetrovsk: National Mining University, 2010. – PP. 60–63.
3. Efremov E.I., Bilokon M.P., Ponomarev A.V. and others. Pilot-scale tests of the technology of charging and efficiency of explosives of non-watered rocks with alternating diameter charges // Geotechnical engineering. – Dnipropetrovsk: IGTM National Academy of Sciences of Ukraine. – 2005. – № 58. – PP. 13–18.

Стаття надійшла 26.07.2013.

УДК 622.831.3

**ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ЗАПОБІЖНИХ ЦІЛІКІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

**О. Є. Григор'єв**

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»  
просп. К. Маркса, 19, Дніпропетровськ, 49027, Україна.

E-mail: GrigorievAE@mail.ru

Виявлені особливості формування пружно-деформованого стану породного масиву в запобіжному цілику, що розділяє лаву і капітальну виробку. Запропонована розрахункова схема та виконано математичне моделювання для системи «лава–цілик–виробка». Для гірничо-геологічних умов шахти «Білозерська» ви-

значені залежності зміни відносного радіусу непружних деформацій від ширини запобіжного цілику. Встановлено ступінь впливу пласту пісковика в покрівлі виробок і відстані від нього до підшови вугільного пласту на максимально припустиму ширину запобіжного цілику.

**Ключові слова:** запобіжний цілик, зона непружних деформацій, метод скінчених елементів.

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

**А. Е. Григорьев**

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»  
проосп. К. Маркса, 19, Днепропетровск, 49027, Украина.

E-mail: GrigorievAE@mail.ru

Выявлены особенности формирования напряженно-деформированного состояния породного массива в предохранительном целике, разделяющем лаву и капитальную выработку. Предложена расчетная схема и выполнено математическое моделирование для системы «лава–целик–выработка». Для горно-геологических условий шахты «Белозерская» определены зависимости изменения относительного радиуса неупругих деформаций от ширины предохранительного целика. Установлена степень влияния пласта песчаника в кровле выработок и расстояния от него до почвы угольного пласта на величину максимально допустимой ширины предохранительного целика.

**Ключевые слова:** предохранительный целик, зона неупругих деформаций, метод конечных элементов.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Стан панельних капітальних гірничих виробок залежить від багатьох обставин, серед яких вирішальне значення має стійкість запобіжних ціликів, що охороняють такі виробки. І, якщо основним завданням ціликів між паралельними виробками є виключення їх взаємного впливу, то цілики між лавою і групою підготовчих виробок покликані запобігти впливу опорного тиску, викликаного очисними роботами, на крайні ходки.

Розуміння природи зусиль, що впливають на цілики, закономірностей формування напружено-деформованого стану масиву і розвитку зони непружних деформацій навколо виробок, механізмів деформації і руйнування порід об'єднується в численні теорії гірського тиску. Серед таких теорій найбільше визнання отримали теорії А.А. Борисова, П.М. Цимбаревича, К.В. Руппенейта, Г.Н. Кузнецова та ін.

Гіпотези мають низки загальних висновків, хоча й ґрунтуються на різних базових положеннях, та відмінні за своїм змістом.

У різних областях масиву гірських порід навколо очисної виробки формуються області, в яких зусилля, що виникають внаслідок ведення очисних робіт, якісно і кількісно відрізняються, а, відповідно, різним є напружено-деформований стан і поведінка середовища, динаміка і якість її руйнування в кожній такій області.

Попереду очисної виробки формується область опорного тиску, довжина якої за різними оцінками складає 50...200 м, що спричинено дією навислих у вигляді консолей пластів порід основної покрівлі на основу, складену з вугільного пласта і його підосви. Результатом впливу опорного тиску є утворення областей концентрації високих напружень, що призводить до формування в приконтурній області лави зони непружних деформацій, в межах якої масив порід піддається сильному тріщиноутворенню і розпушенню. Конфігурація такої зони досить складна і охоплює частину вугільного пласта, а також породи покрівлі і підосви навколо лави у напрямі її руху.

Вугільний пласт попереду лави в межах зони розпушення знаходиться у зруйнованому стані, що, використовуючи практичну термінологію, має назву "віджимання". За межами області непружних деформацій породний масив працює в пружному режимі.

Позаду лави обвалені породи основної і безпосередньої покрівлі формують область зниженого тиску, а міцнісні характеристики масиву на порядок нижче за величиною, ніж в недоторканому масиві. Проте, головним недоліком, про що свідчать самі автори гіпотез, є складність вибору універсальної математичної моделі і методу наступного опису процесів, що відбуваються в масиві порід навколо очисної виробки. Математичні моделі за рахунок низки припущень, які вимагають додаткового обґрунтування, відображують в собі лише окремі випадки загальної теорії гірського тиску для дещо ідеалізованого породного масиву.

У зв'язку із цим, отримання рішень, що мають практичну цінність, можливе у разі виконання досліджень на моделях, в яких відображені гірничо-геологічні і гірничотехнічні умови відпрацювання вугільних пластів конкретних горизонтів шахт з урахуванням головних, загальних для всіх гіпотез гірського тиску, висновків із застосуванням методів чисельного моделювання, зокрема методу скінченних елементів.

Наведений в [1] алгоритм моделювання з використанням указанного методу може бути застосований під час вирішення задач при дослідженні масиву, що вміщує систему "лава–цілик–ходок".

Мета роботи – шляхи визначення геометричних параметрів запобіжних ціликів вугільних шахт.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** *Особливості формування пружно-деформованого стану породного масиву в запобіжному цілику, що розділяє лаву і капітальну виробку.* При панельній підготовці шахтного поля її відпрацювання очисними вибоями виконується симетрично відносно панельних виробок.

При рішенні задач геомеханіки з використанням МСЕ симетричні моделі зустрічаються досить часто. В таких випадках, при формуванні розрахункових схем з метою зменшення кількості елементів і зниження тривалості виконання розрахунків, припускається використання моделей, що містять лише частину досліджуваного середовища, обмежену осями симетрії та її загальним контуром. При цьому відсутня частина компенсується введенням у розрахункову схему додаткових сумарних зусиль або переміщень з боку вилученої частини масиву.

Тому розрахункова схема моделі включатиме лише область породного масиву, обмежену віссю симетрії, що співпадає з головною вертикальною віссю капітального уклону (бремсбергу), сам уклон, ходок, цілик, що виключає взаємний вплив панельних виробок, очисну виробку і охоронний цілик між лавою і ходком (рис. 1).

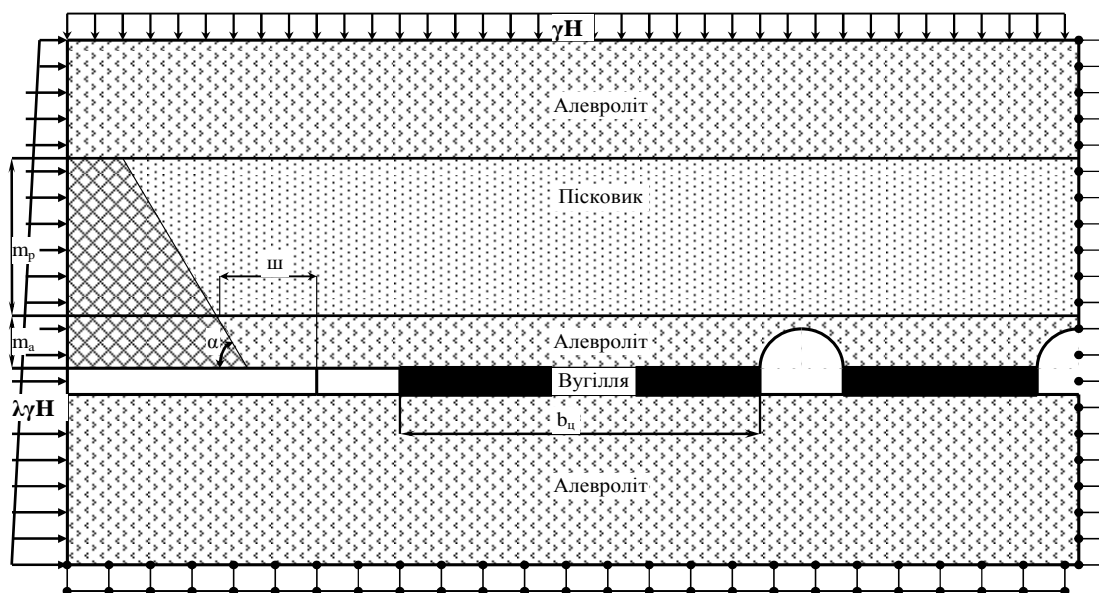


Рисунок 1 – Розрахункова схема моделі для визначення зон непружних деформацій навколо виробки, що охороняється запобіжним ціликом

Розміри ходка і уклону приймаються згідно з паспортами проведення і кріплення виробок. Для виконання досліджень були прийняті умови пласту  $l_8$  горизонту 550 м шахти «Білозерська» ВСП «ШАХТОУПРАВЛІННЯ НОВОДОНЕЦЬКЕ» ТОВ «ДТЕК Добропіллявугілля». За паспортами проведення і кріплення виробки мають арочну форму перерізу, а ширина складає 5,1 м при висоті – 3,58 м.

Ширина цілику між уклоном і ходком приймається рівною 40 м, що згідно з [2] дозволяє виключити взаємний вплив цих виробок. У процесі моделювання порівняння параметрів зони непружних деформацій кожної з виробок дозволить також визначити момент початку впливу опорного тиску на ближній до лави ходок.

Ширина лави приймається рівною 6 м при висоті 1 м, що відповідає ширині демонтажного ходку при закінченні виймальних робіт. Ширина охоронного цілику між лавою і ходком в процесі моделювання варіюватиметься в деякому діапазоні. Очевидно, що мінімальним розмір цілику буде у тому випадку, коли очисна виробка підійде впритул до панельного ходку. Для визначення ж максимальної ширини, яка і буде прийнята в розрахунковій схемі, задалегідь слід оцінити стан самого цілику з точки зору зусиль, що впливають на нього, деформацій і напружень, у зв'язку з чим за його шириною слід виділити декілька характерних областей.

У крайових зонах лави і ходку, вугілля і частково породи покрівлі і підосви до межі піку опорного тиску знаходяться в розпушеному стані. У цій області мають місце переміщення порід покрівлі і підосви в межах зони непружних де-

формацій, а напруження в межах ділянки мінімальні біля вибою і боків ходка і зростають до піку опорного тиску, як і залишкова міцність масиву.

За межами зон розпушення, масив цілику працює в пружному режимі, а опорний тиск знижується до природного рівня напружень, характерного недоторканому масиву.

При наближенні лави, опорний тиск, як і межі відповідних ділянок, зміщуються в сторону ходка, і на деякій відстані виникає явище взаємного впливу виробок. Саме з цього моменту, особливу увагу викликає форма зони непружних деформацій на кожній із ділянок, величини переміщення точок покрівлі і підосви, а також інші чинники, що впливають на геомеханічні процеси.

На підставі сказаного вище стає можливим визначити деякі геометричні розміри розрахункової схеми для наступного моделювання (рис .2).

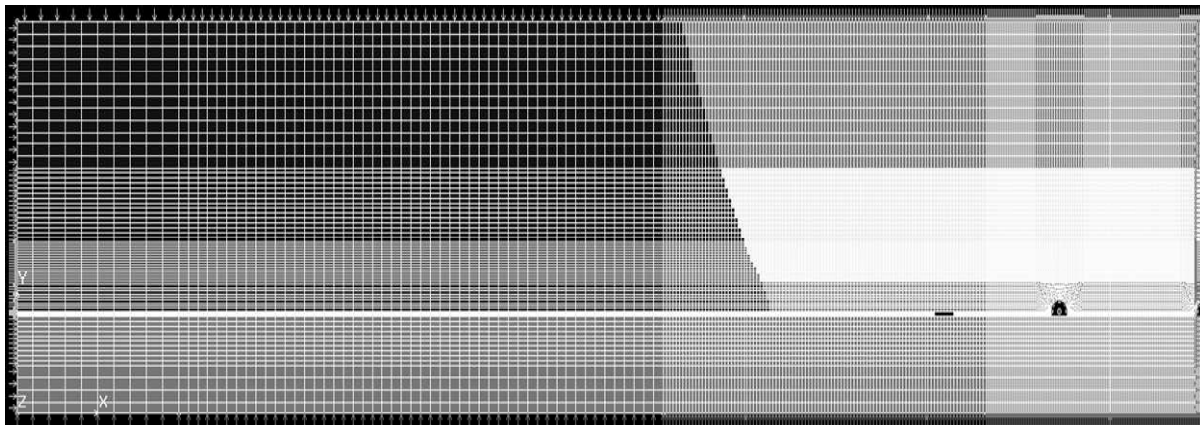


Рисунок 2 – Скінчено-елементна реалізація розрахункової схеми

Спираючись на висновки дослідників, які відзначали, що область опорного тиску сягає 200 м, а зона впливу одиночної виробки складає майже 30 м, ширину цілику, розміри якого в процесі моделювання варіюватимуться, для першої моделі було прийнято 230 м. Але згідно з нормативною методикою визначення розмірів цілику [2] для гірничо-геологічних умов пласту  $l_8$  горизонту 550 м, ширина зони опорного тиску складатиме не більше 120 м.

Важливим чинником, що вимагає врахування при складанні розрахункової схеми, є довжина вильоту консолі порід основної покрівлі, що нависають над відпрацьованим простором позаду лави. Вочевидь, що при найбільшому значенні вильоту, в породному масиві спостерігається найбільш складна з точки зору розподілу і концентрації напружень картина.

Визначенню кроку сталого обвалення, а, відповідно, і довжині найбільшого нависання порід покрівлі, присвячена робота [3]. Автором для умов шахт ТОВ "ДТЕК ДОБРОПІЛЛЯВУГІЛЛЯ" отримані залежності кроку первинного і сталого обвалення, від потужності міцнішого у порівнянні з іншими шарами пласта пісковіку, що залягає в покрівлі вугільного пласта. Згідно з висновками роботи величина такого кроку варіюється в межах 30...63 м при потужності пісковіку до 30 м.

Для виконання моделювання при складанні розрахункової схеми висоту масиву над вугільним пластом достатньо прийняти як суму значень потужності пісковика і алевроліту, визначених в роботі [3], з двократним запасом, що дозволить виключити вплив граничних умов на контурі моделі, а саме 60 м. При цьому найбільше віддалення пласта пісковика від вугільного пласта при максимальній потужності 30 м складе також 30 м.

З урахуванням того факту, що кут поверхні обвалення до горизонту згідно з [3] складає 65...85 градусів, крайня точка вильоту консолі від вибою лави, буде розташована на відстані  $L=100$  м.

*Рішення задачі про розподіл напружень у масиві, що вміщує систему «лава-цілик-ходок» методом скінчених елементів.* Моделювання МСЕ відповідно до процедури, наведеної в [1], виконувалося для змінних ширини цілику, потужності пісковика і товщини пласту алевроліту над пластом вугілля. Для кожної конфігурації моделі визначалася форма зони непружних деформацій з оцінкою її відносних розмірів. Крім того, визначалися переміщення на контурі масиву навколо капітальної виробки. Змінні величини варіювалися зі встановленим кроком  $\Delta=5$  м, а загальна кількість вирішених задач склала більше ста.

Припустимою шириною цілику прийнята така ширина, за якої напруження, що виникають в порідному масиві навколо виробок не призводять до виникнення критичних зміщень точок контуру. У свою чергу, критичні зміщення визначаються відносним критичним радіусом зони непружних деформацій відповідно до біфуркаційної моделі здимання [1].

На рис. 3 наведена картина розподілу еквівалентних напружень в породному масиві для однієї з характерних ситуацій, а графіки залежності відносного радіусу непружних деформацій  $r_L$  і відносних переміщень  $u$  від ширини цілика між лавою й ходком  $b_u$  наведені на рис. 4, аналізуючи які можна зауважити деякі характерні особливості:

- зона непружних деформацій навколо крайнього ходку на максимальній відстані від лави має конфігурацію, подібну до конфігурації області розпушення поза зоною будь-якого впливу;

- у міру зменшення ширини цілику, геометрія області розпушення навколо капітальної виробки змінюється із переміщенням максимуму радіусу непружних деформацій у сторону лави;

- за наявності пласту пісковика відносний радіус непружних деформацій суттєво зменшується, а вплив пісковика спостерігається при його потужності до  $m_n=20$  м, а також при його наявності в покрівлі на відстані до  $m_a=20$  м. Отримані значення співпадають з результатами моделювання для двох паралельних виробок, що охороняються ціликом від взаємного впливу:

- найменша допустима ширина цілику  $b_u=30$  м можлива за наявності в покрівлі пласта пісковика потужністю  $m_n=20$  м на відстані від вугільного пласта  $m_a=5$  м;

- відносний радіус зони непружних деформацій, як і залежні від нього переміщення контуру виробки, збільшуються за експоненціальним законом у міру зменшення ширини цілика.

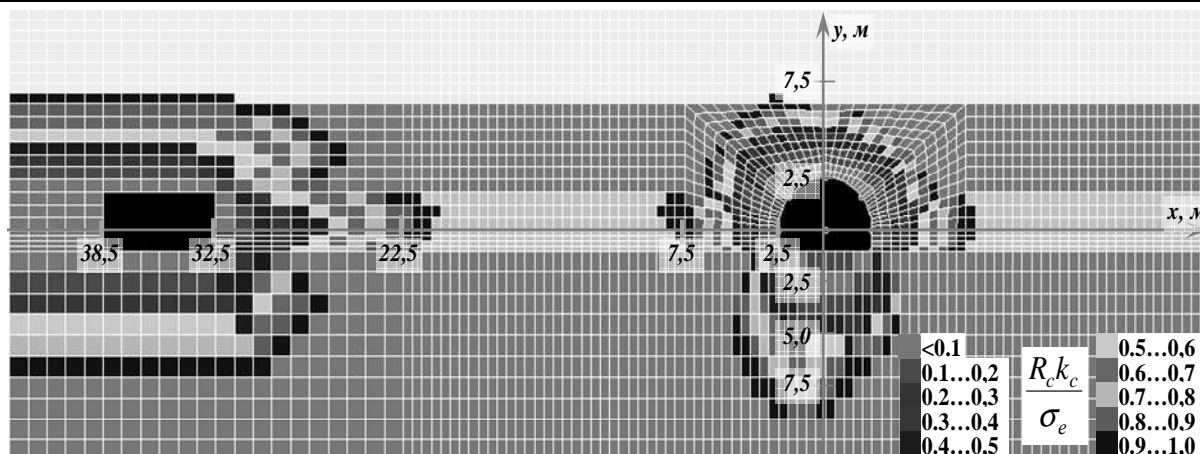


Рисунок 3 – Конфігурація зон непружних деформацій навколо виробок при  $b_u=30$  м;  $m_n=20$  м;  $m_a=3$  м

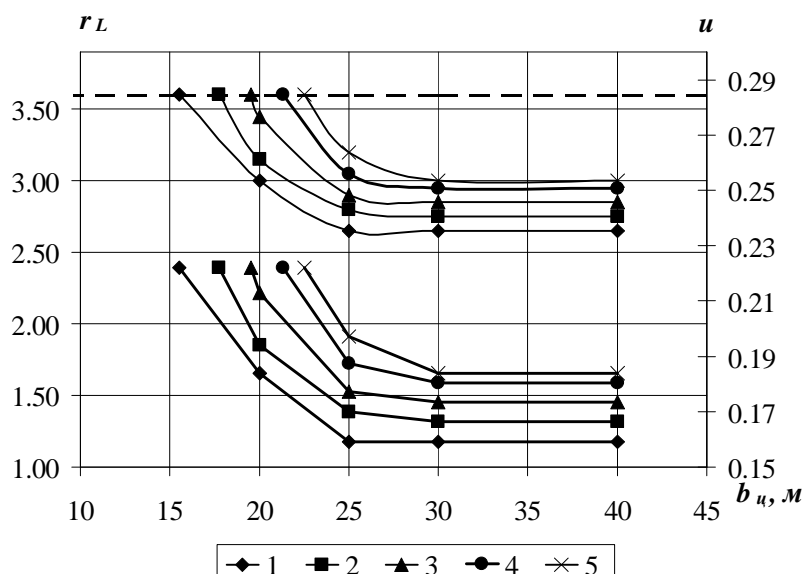


Рисунок 4 – Графіки залежності відносного радіуса непружних деформацій  $r_L$  і відносних переміщень  $u$  від ширини цілика між лавою й ходком  $b_u$  при  $m_n=20$  м: 1 –  $m_a=5$  м; 2 –  $m_a=10$  м; 3 –  $m_a=15$  м; 4 –  $m_a=20$  м; 5 –  $m_a=25$  м,  $m_a=0$  м

Отримані залежності (рис. 4), які було визначено для  $m_n=0...25$  м із кроком 5 м, дозволили сформулювати кінцеві залежності (рис. 5), що дозволяють визначити ширину цілика  $b_u$  відповідно до потужності  $m_n$  і відстані  $m_a$  до пласту пісковика.

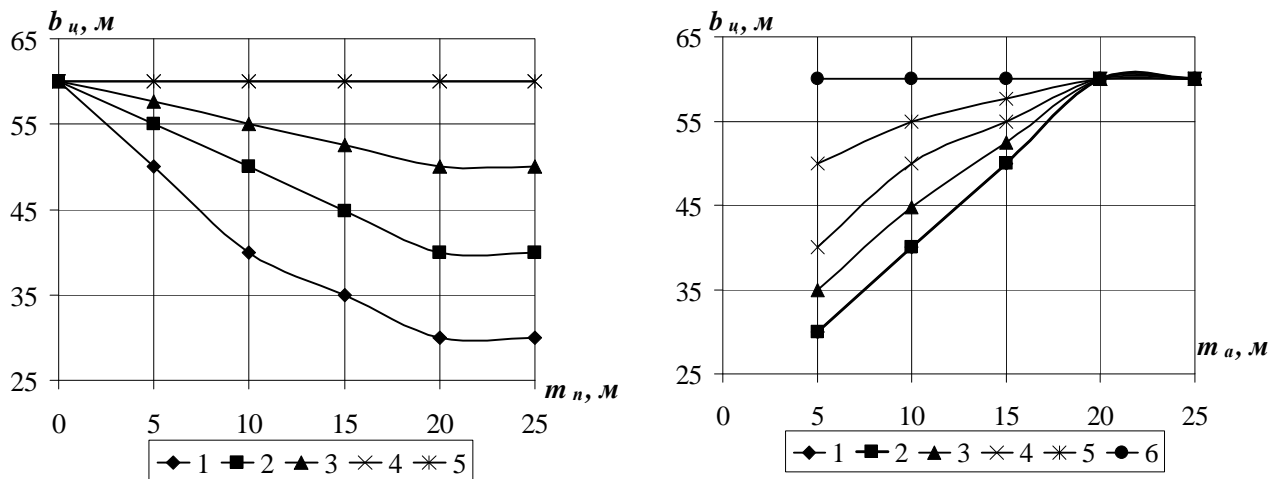
Таким чином залежність ширини цілика між лавою й ходком  $b_u$  від потужності пласту пісковика  $m_n$  описується наступним виразом:

$$y = ae^{bx} \quad (1)$$

Залежність ширини цілика  $b_u$  між лавою й ходком від відстані  $m_a$  між підшвою вугільного пласту й пластом пісковика відповідно до залежностей рис. 5, б має наступний вигляд:

$$y = ae^{\frac{b}{x}} \quad (2)$$

Виявлені закономірності мають практичне значення. Для заданих умов у залежності від параметрів складноструктурного масиву користуючись графіками рис. 5 можливе визначення ширини запобіжного цілика між лавою і ходком.



а) 1 –  $m_a=5$  м, 2 –  $m_a=10$  м, 3 –  $m_a=15$  м, 4 –  $m_a=20$  м, 5 –  $m_a=25$  м

б) 1 –  $m_n=5$  м, 2 –  $m_n=10$  м, 3 –  $m_n=15$  м, 4 –  $m_n=20$  м, 5 –  $m_n=25$  м

Рисунок 5 – Графік залежності ширини цілика між лавою й ходком  $b_u$  від потужності пласту пісковика  $m_n$  (а) і від відстані  $m_a$  між підшовою вугільного пласту й пластом пісковика (б)

## ВИСНОВКИ.

1. В породному масиві, який вміщує лаву, капітальну виробку і цілик, що охороняє виробку від впливу опорного тиску, відбуваються складні процеси перерозподілу напружень, а це призводить до формування складної картини напружено-деформованого стану, аналіз якого можливий при використанні чисельних методів моделювання, а саме методу скінчених елементів.

2. При наближенні лави, опорний тиск, як і межі ділянок з високою концентрацією напружень, зміщуються у бік ходка, і на деякій відстані виникає явище взаємного впливу виробок, що проявляється у вигляді накладення зон впливу лави і виробки, що охороняється ціликом. Таке накладення призводить до викривлення контуру зон непружних деформацій навколо виробок і загальному збільшенні площі області розпушення.

3. Відносний радіус зони непружних деформацій і пов'язані з ним переміщення контуру виробки зростають за експоненціальним законом при зменшенні розмірів цілика.

4. Граничними, або критичними, є такі розміри відносного радіусу непружних деформацій, при досягненні яких у виробці, що охороняється, матиме місце непрогнозоване здимання порід підшови, викликане розпушенням масиву.

5. Стійкість капітальних виробок, що охороняються ціликами від впливу



очисних робіт, знаходиться в експоненціальній залежності як від потужності міцного породного пласту, що залягає в покрівлі, так і від відстані між таким пластом і підшовою виробок, що дозволяє регулювати розміри цілика, зменшуючи експлуатаційні втрати вугілля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гапеев С.Н. Закономерности потери упругопластической устойчивости сложноструктурного массива в окрестности одиночной выработки: дис...канд. техн. наук: 05.15.09 / С.Н. Гапеев. – Днепропетровск, 2004. – 188 с.

2. КД 12.01.01.201–98 Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. – К.: Мінвуглепром України. 1998. – 150 с.

3. Хозяйкина Н.В. Закономерности изменения предельного напряженного состояния в сложноструктурной кровле лав пологопадающих угольных пластов – Дис...канд. техн. наук: 05.15.04 / Н.В. Хозяйкина. – Днепропетровск, 2002. – 165 с.

#### ON THE DETERMINATION OF PROTECTIVE PILLARS GEOMETRICAL PARAMETERS OF COAL MINES

**O. Grigoriev**

State Higher Education Institution "National Mining University"

prosp. K. Marks, 19, Dnipropetrovs'k, 49027, Ukraine.

E-mail: GrigorievAE@mail.ru

Features of the formation the stress-strain state rock mass in protective pillar that divides longwall and the main working are identified. Scheme of mathematically modeling system, "lava pillar-generation" are offered. For the geological conditions of the mine "Belozerskaya" the changes depending on relative radius inelastic deformations on the width protective pillar are defined. Degree of influence formation sandstone in the roof workings and the distance from it to the sill on the value maximum allowable width protective pillar installed.

**Key words:** protective pillars, area of plastic deformations, finite element method.

#### REFERENCES

1. Gapeev S.N. The regularities of a loss of elasto-plastic sustainability of a massif having composite structure in a neighbourhood of a single mine working: Diss. cand. techn. science: 05.15.09 / S.N. Gapeev – Dnipropetrovs'k, 2004. – 188 p. [in Russian]

2. Location, security and maintaining mine workings when mining of coal seams in the mines; 12.01.01.201-98 CD. Minvugleprom of Ukraine. – K., 1998. – 150 p. [in Russian]

3. Khoziaikina N.V. The regulations of changing boundary stressed state in a complex-structure roofing of sloping coal seam drives: Diss. cand. techn. science: 05.15.04 / N.V. Khoziaikina – Dnipropetrovs'k, 2002. – 165 p. [in Russian]

Стаття надійшла 01.08.2013.