

УДК 622.281.74

Григор'єв О.Є., к.т.н., ас., Горлова Х.О., студ. ГБМ-07-1, Лижков М.В., студ. ГРб-09-1, Державний ВНЗ «НГУ», Дніпропетровськ, Україна

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ГІРНИЧОГО МАСИВУ, ЩО ВМІЩУЄ ПІДЗЕМНІ ВИРОБКИ ТА ПРИРОДНІ ОХОРОННІ ОБ'ЄКТИ

Вступ. Однією з першочергових задач підземної розробки вугільних родовищ є підвищення ефективності виймання покладів, одним зі способів якого є збільшення навантаження на видобувні стовпи шляхом обґрунтованого зменшення втрат в природних охоронних об'єктах – ціликах. На практиці запобіжні цілики, що залишаються для охорони виробок або не відпрацьовуються зовсім, або виймання вугілля відбувається майже немеханізованим способом вже після закінчення робіт в межах ділянки шахтного поля або всієї шахти.

Аналіз досліджень та публікацій. Переважна більшість методик визначення припустимих розмірів ціликів ґрунтуються на рішенні двох взаємопов'язаних задач – розрахунку максимальної несучої здатності цілику і визначенні навантаження, що діє на такий цілик. Порівняння набутих в результаті подібних розрахунків значень дозволяє розрахувати величину коефіцієнта запасу міцності K_3 , до питання визначення якого, так або інакше, зверталися переважна більшість дослідників, що займалися питаннями геомеханіки взагалі та стійкості ціликів зокрема, серед яких особливо слід виділити Л.Д. Шевякова, В.Д. Слесарева, Д.І. Шермана, О.М. Шашенка та ін. Нині в достатній мірі обґрунтованим значенням для ухвалення проектних рішень вважається $K_3=1,8\dots 7$.

Визначення мети досліджень. Для оцінки міри впливу параметрів вугільного пласта на загальну стійкість цілику, а, відповідно, і на стійкість виробок, потрібен аналіз картини пружно-деформованого стану масиву залежно від геометричних параметрів вугільного пласту для конкретних умов.

Як відомо, в породному масиві навколо поодинокі виробки виникає зона непружних деформацій. Кожна точка масиву в межах такої області частково зруйнована, проте має деяку залишкову межу міцності. Визначення загального запасу міцності цілику, частиною якого є також області розпушення навколо виробок, можливе шляхом знаходження середнього значення \bar{K} , що враховує усереднені значення коефіцієнта запасу міцності в межах кожної з визначених областей. У разі дослідження системи "виробка-цілик-виробка" (рис. 1) таких областей в межах цілику три: зона невідкладного розпушення в центральній частині цілику (I) і дві області непружних деформацій навколо виробок (II).



Рисунок 1 – Розрахункова схема до визначення коефіцієнта запасу міцності цілику

У загальному вигляді формула визначення \bar{K} в цьому випадку має вигляд:

$$\bar{K} = \frac{\sum_i \bar{K}_i l_i}{\sum_i l_i},$$

де l_i – ширина ділянки цілику в межах області, $i=3$ для випадку модельованої системи.

Для кожної з ділянок величина коефіцієнта запасу міцності визначається як:

$$\bar{K}_1 = \frac{\int_a^b f(x)dx}{ab}; \quad \bar{K}_2 = \frac{\int_b^c f(x)dx}{bc}; \quad \bar{K}_3 = \frac{\int_c^d f(x)dx}{cd} \quad (1)$$

Отримання підінтегральних функцій виразів (1) можливе шляхом побудови залежності зміни крапкового коефіцієнта запасу міцності k_3 уздовж обраних горизонтальних осей в межах цілику (для випадку плоскої задачі). У перерізі цілику можна виділити декілька характерних ділянок, в межах яких слід провести умовні вісі для визначення k_3 , якими для наведеної на рис. 1 розрахункової схеми є умовні осі 1-1', 2-2' і т.д.

Величина коефіцієнта запасу міцності в кожній точці масиву уздовж обраної вісі визначається як:

$$k_3 = \frac{R_c k_c}{\sigma_e},$$

де σ_e – еквівалентне напруження; R_c – межа міцності на одновісне стиснення; k_c – коефіцієнт структурно-механічного послаблення.

Величина σ_e , як характеристика напруженого стану породного масиву, визначається згідно обраному критерію міцності, яким в цій роботі був обраний критерій П.П. Баландіна.

На кінцевому кроці моделювання, що виконувалось методом скінчених елементів, в кожному елементі масиву були визначені σ_e і залишкова межа міцності $R_{Cост}$, що дозволило розрахувати крапковий k_3 .

Головними завданнями роботи визначені наступні:

- розробка розрахункової схеми і формування скінчено-елементної моделі для конкретних гірничо-геологічних умов, якими було обрано умови пласта l_8 горизонту 550 м ТДВ "Шахта Білозерська";
- рішення задачі про напружено-деформований стан породного масиву, що вміщує дві виробки, розділені запобіжним цілком, який складений вугіллям і алевролітом при змінній (з кроком 0,5 м) потужності вугільного цілику m_y ;
- розрахунок \bar{K} за обраними характерними перерізами цілику.

Основний матеріал досліджень. Розрахункова схема модельованих ситуацій складена на підставі даних про властивості порід. Геометричні параметри виробок було визначено з паспортів проведення і кріплення вантажного ходка і уклону №1 горизонту 550 м пласта l_8 ТДВ "Шахта Білозерська". Величина навантажень, що прикладаються, визначається глибиною розташування виробок з урахуванням ділянки масиву, що забезпечує дотримання граничних умов.

Наведена на рис. 2 розрахункова схема та її скінчено-елементна реалізація для заданих умов сформована на підставі:

- враховуючи симетричність задачі за наявності трьох підготовчих виробок (уклону і 2-х ходків), розміри яких визначаються паспортами кріплення, для досліджень прийнята розрахункова схема з двома виробками;
- мінімальна ширина цілику, що становить 40 м, обґрунтовується розрахунком згідно нормативних рекомендацій [1];

- гірничо-геологічні умови системи, що моделюється, відповідають ділянці шахтного поля пласта l_8 ТДВ "Шахта Білозерська" на ділянці відпрацювання 2-ої північної лави горизонту 550 м, а властивості породного масиву задаються згідно даних геологічної служби шахти.

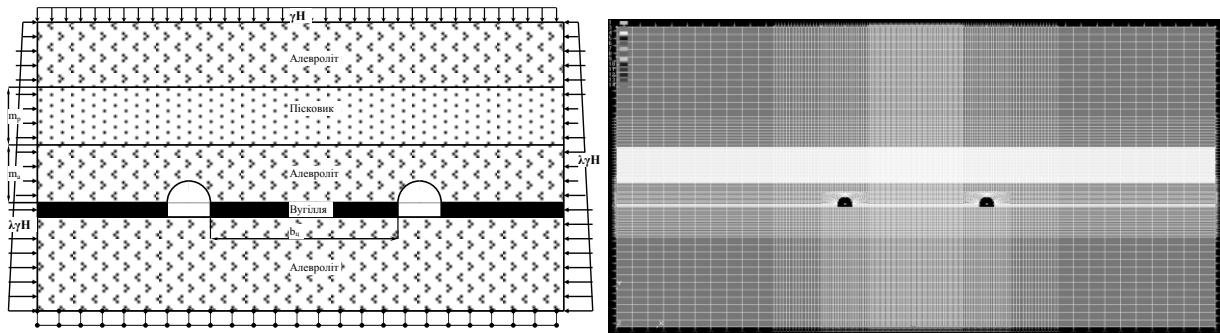


Рисунок 2 – Розрахункова схема та її скінчено-елементна реалізація моделі для визначення зон непружних деформацій для двох капітальних виробок

В результаті рішення серії задач отримані відповідні картини розподілу напружень σ_e в породному масиві, а також визначені конфігурації зон непружних деформацій (рис. 3).

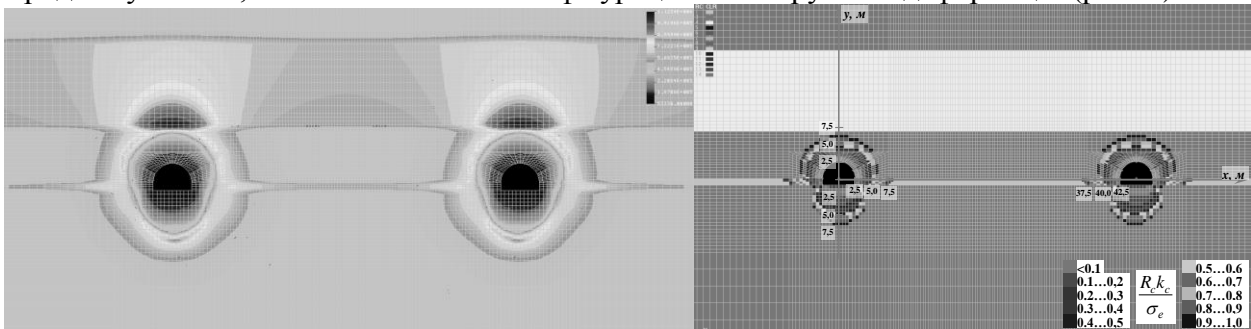


Рисунок 3 – Розподіл еквівалентних напружень σ_e і конфігурації зони непружних деформацій навколо виробок

Розрахунок коефіцієнта запасу міцності уздовж обраних заздалегідь осей дозволяє сформуванати залежності розподілу k_3 за шириною цілику в межах кожної з ділянок (рис. 4). В межах зони непружних деформацій величина коефіцієнта запасу міцності дещо більше або близька до одиниці, що є цілком передбачуваним, враховуючи стан масиву в межах таких областей. Від контуру виробки у напрямку до середини цілику величина залишкової межі міцності $R_{Cост}$ зростає від майже нульових значень, проте ростуть і значення еквівалентних напружень σ_e , залишаючись при цьому дещо менше гранично припустимих.

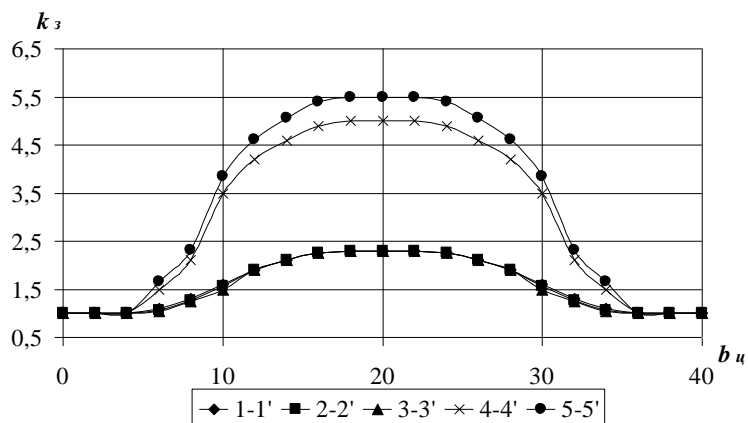


Рисунок 4 – Розподіл величини k_3 за шириною цілика

У основній же частині цілику поза зоною непружних деформацій величина k_3 зростає від межі граничного стану масиву поблизу контуру області непружних деформацій до середньої частини цілику.

Отримані залежності для центральної частини цілику описуються поліномом 4-ого ступеню.

Шляхом розрахунку відношення інтегрування отриманих залежностей до ширини цілика були отримані значення \bar{K} , найменші з яких відповідають осям, що проходять вугільним пластом ($\bar{K}_{1-1'} = 1,81$, $\bar{K}_{2-2'} = 1,79$, $\bar{K}_{3-3'} = 1,77$, $\bar{K}_{4-4'} = 2,9$, $\bar{K}_{5-5'} = 3,28$). При цьому розкид значень в межах пласта складає менше 1 % при будь-якій потужності вугільного пласту.

Аналізуючи набуті значення \bar{K} , можна відмітити наступні особливості:

- в межах вугільного пласта величина сумарного коефіцієнта запасу міцності виявляється істотно меншою для усіх осей аналізу порівняно з іншим породними пластами, що складають цілик;

- перерізом цілику, де значення \bar{K} найменше, є горизонтальна площина, що перетинає вугільний пласт в безпосередній близькості від межі розділу пластів вугілля і алевроліту.

У подальшому оцінка запасу міцності на основі результатів чисельного моделювання для інших конфігурацій модельованого масиву виконувалась лише для горизонтального перерізу цілику (для плоскої задачі – вісі), що перетинає центральну частину пласту. За вихідними даними моделювання отримані підсумкові залежності (рис. 5).

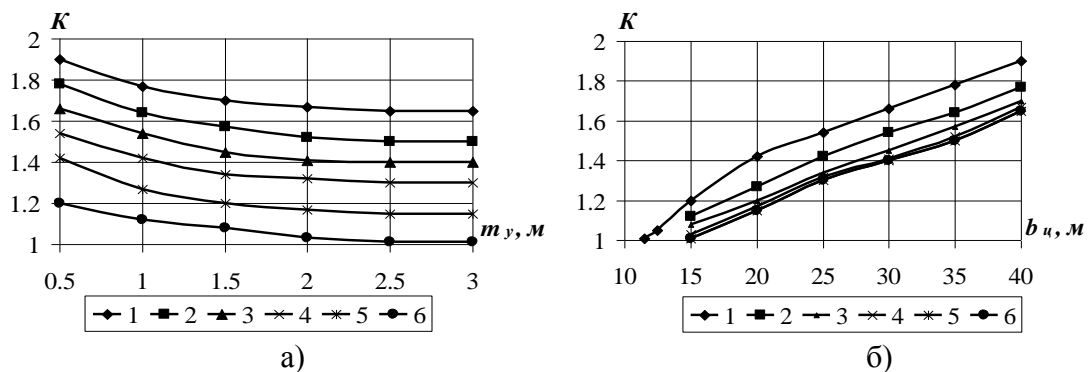


Рисунок 5 – Залежність усередненого значення коефіцієнту запасу міцності цілику \bar{K} від:
 а) потужності вугільного пласту t_y при ширині цілику: 1. $b_u = 40$ м; 2. $b_u = 35$ м; 3. $b_u = 30$ м;
 4. $b_u = 25$ м; 5. $b_u = 20$ м; 6. $b_u = 15$ м; б) його ширини b_u при потужності вугільного пласту: 1.
 $t_y = 0,5$ м; 2. $t_y = 1,0$ м; 3. $t_y = 1,5$ м; 4. $t_y = 2,0$ м; 5. $t_y = 2,5$ м; 6. $t_y = 3,0$

Аналіз отриманих залежностей дозволяє зробити наступні висновки:

- коефіцієнт запасу міцності зменшується за експоненціальною залежністю у межах 15...20 % при збільшенні потужності вугільного пласту;

- при збільшенні ширини цілику величина \bar{K} зростає за лінійним законом і при досягненні мінімально припустимих розмірів цілика відповідно до нормативної методики ($b_u = 40$ м) запас міцності збільшується у 1,5...1,9 рази порівняно з мінімальним значенням.

Отримані залежності, безумовно, властиві суто прийнятим гірничо-геологічним умовам, але наведена методика визначення запасу міцності цілику може бути використана для будь-яких інших умов.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

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