

УДК 624.131.537.003

А.К. Гавриш, аспір.
А.М. Роєнко, д.т.н., проф.
Національний гірничий університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГІРСЬКОГО МАСИВУ НАВКОЛО ОДИНОЧНОЇ КАМЕРИ ВЕЛИКОГО ПЕРЕРІЗУ

Відображені результати аналітичних досліджень стану масиву гірських порід навколо камер великого перерізу з використанням удосконаленого алгоритму програми, що реалізує метод граничних елементів. Встановлено параметри зон максимальних концентрацій руйнуючих напружень, що дає можливість розробки рекомендацій із забезпечення максимальної стійкості підземних споруд.

Ні для кого не секрет, що підземне цивільне будівництво має багато переваг перед наземним. Ці переваги стають ще більш значущими, якщо врахувати складне економічне становище в країні. Тому проблема освоєння підземного простору шляхом будівництва підземних об'єктів, не пов'язаних з видобутком корисних копалин, набуває все більш актуального характеру [1].

Доцільність розміщення об'єктів народного господарства в підземному просторі можуть підтвердити безліч наочних прикладів, що є у світовій практиці будівництва [1]. Одним з найкращих прикладів в Україні є використання підземних виробок камерного типу, що утворилися в результаті підземного видобутку пильного вапняку в Криму.

Цілеспрямоване освоєння підземного простору Криму шляхом формування виробок із заданими параметрами під майбутні об'єкти з супутнім видобутком будівельної сировини є найбільш ефективним вирішенням безлічі проблем, що існують при наземному будівництві і видобутку корисних копалин відкритим способом у цьому унікальному природному районі. Однак, незважаючи на те, що це завдання вже вивчалось деякими дослідниками [2–4], як і раніше, відсутня відповідна нормативна база для реалізації існуючих пропозицій.

Одним з найважливіших завдань, яке необхідно вирішувати при створенні даної нормативної бази, є розробка науково-обґрунтованих рекомендацій із забезпечення стійкості споруд з урахуванням їхнього довгострокового використання. Звичайно, стійкість споруд забезпечується шляхом підбору для заданих камер оптимальних параметрів основних несучих елементів системи розробки вапняків – міжкамерних ціликів і стелін. Для правильного визначення оптимальних розмірів вищевказаних елементів необхідно вирішити два взаємозалежних завдання, а саме: визначити напруження в гірському масиві в околиці камер і порівняти ці напруження з граничним руйнівним навантаженням.

Існує безліч методик визначення як діючих напружень, так і граничного руйнівного навантаження. Усі вони мають свої переваги і недоліки, і, в основному, застосовні лише у вузькому діапазоні гірничо-геологічних умов. До того ж, для забезпечення безпеки й ефективності ведення гірських робіт, у розрахункові формули вводиться коефіцієнт запасу міцності, значення якого для тих же гірничо-геологічних умов за даними різних дослідників коливається в широких межах – від 1,8 до 10,0.

Аналіз науково-технічної літератури з розглянутого питання показав, що в даний час для дослідження багатозв'язних областей, типу «цілик–покрівля–грунт», не повною мірою використовуються можливості чисельних методів, таких, як методи граничних і кінцевих елементів. Ці методи дозволяють досліджувати пружне ізотропне середовище, що з достатньою точністю відповідає умовам пильних вапняків Криму. У ході розрахунку визначається пружно-деформований стан (ПДС) будь-якої точки масиву в околиці гірничої виробки і її контуру. Тобто, є можливість виявити максимально напружені зони. А, знаючи місце розташування цих зон легко можна керувати станом приконтурного масиву, наприклад, шляхом використання розвантажувальних елементів у поперечному перерізі камери, таких, як компенсаційні порожнини. Таким чином можна домогтися значного зниження концентрацій напружень. Слід зазначити, що для технології, яка застосовується при розробці пильних вапняків Криму, здійснення цих заходів не вимагає труднощів.

Як відомо, стан контуру виробки істотно впливає на її стійкість [6]. Технологія випилювання природного каменю з гірського масиву кільцевими фрезами чи ланцюговими барами така,

що на контурі видобувних виробок утворюються технологічні пропили невеликої глибини і ширини. Такі пропили сприятливо впливають на ПДС приконтурного масиву [5]. Детальне дослідження механізму впливу компенсаційних порожнин у вигляді щільних пропилів на ПДС масиву дозволить розробити рекомендації з вибору параметрів щілин.

Дане дослідження доцільно почати з визначення максимально напружених зон в околиці одиночної камери. Це завдання було успішно вирішене з використанням програмного продукту TWODD, що реалізує метод граничних елементів у вигляді розривних зсувів [7]. Цей метод заснований на аналітичному розв'язку задачі про нескінченну площину, зсуви в якій зазнають постійні за величиною розриви в межах кінцевого відрізка. Дана особливість дозволяє легко і коректно апроксимувати досліджувані компенсаційні порожнини, тому що фізично розрив зсувів представляється як лінійна тріщина, протилежні поверхні якої зміщені одна відносно одної.

Крім того, метод граничних елементів дозволяє визначати напруження і зсуви в будь-якій точці приконтурного масиву. Для цього задаються координати початку і кінця довільно орієнтованих у масиві прямолінійних відрізків і кількість проміжних точок. Причому, сумарна кількість таких відрізків і, отже, точок не обмежується. Текст програми був трохи змінений, внаслідок чого збільшилася максимальна кількість апроксимуючих граничних елементів (ГЕ) з 50-ти до 99-ти. Як об'єкт досліджень була взята одиночна камера прямокутного поперечного перерізу з такими параметрами: висота $H = 12$ м; ширина $B = 10$ м; глибина закладення – 100 м.

Фізико-механічні властивості вміщуючих порід: модуль Юнга $E = 2,14 \times 10^3$ МПа; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,27$; об'ємна щільність $\rho = 2059$ кг/м³; межа міцності на одноосьове стиснення $R_c = 10$ МПа; межа міцності на одноосьове розтягання $R_p = 1$ МПа.

На основі вищевказаних даних були обчислені зовнішні навантаження: вертикальна складова $\sigma_{yy} = 2,059$ МПа; горизонтальна складова $\sigma_{xx} = 0,76$ МПа; навантаження, що перерізує $\tau_{xy} = 0$.

З огляду на глибину закладення камери, вважаємо, що поверхня не впливає на ПДС приконтурного масиву. Тому, розрахункова схема (рис. 1) являє собою нескінченну невагому пластину з прямокутним вирізом, симетричним відносно осі ОХ, до якої на нескінченному віддаленні прикладені зовнішні навантаження. Контур камери апроксимується трьома прямолінійними відрізками. Вертикальні відрізки довжиною 6 м розбиваються на 24 ГЕ, горизонтальний, довжиною 10 м – на 40 ГЕ. Довжина ГЕ складає 250 мм.

Відрізки в масиві, уздовж яких визначалися напруження і зсуви, розташовані паралельно до покрівлі і боків камери на відстані c_i від контуру (рис. 1). Найближчі до контуру відрізки розташовані на відстані 250 мм від нього, тому що досліджувані точки масиву повинні розташовуватися не ближче, ніж довжина ГЕ, від його центра [7]. Сумарна кількість досліджуваних точок склала 518 шт. У ході розрахунку в кожній з точок були визначені: зсув щодо осі ОХ – U_x ; зсув щодо осі ОУ – U_y ; компонента тензора напружень σ_{yy} ; компонента тензора напружень σ_{xx} ; компонента тензора напружень τ_{xy} .

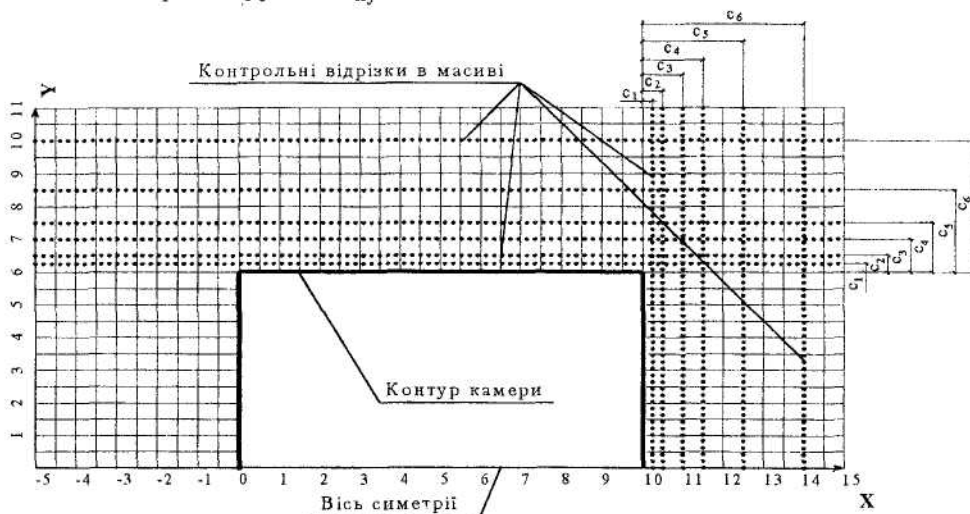


Рис. 1. Розрахункова схема

На основі двохосового напруженого стану було визначене еквівалентне напруження за формулою, узятою з роботи [8] і дещо адаптованою до програми:

$$\sigma_e = \frac{1-\varphi}{2 \cdot \varphi} \cdot (\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) + \frac{1}{2 \cdot \varphi} \cdot \sqrt{(1-\varphi)^2 \cdot (\sigma_{xx} + \sigma_{yy})^2 + 4 \cdot \varphi \cdot (\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy}^2}, \quad (1)$$

де φ – відношення межі міцності порід на одновісний розтяг до межі міцності на одновісне стиснення – $\varphi = \frac{R_p}{R_c}$.

Коефіцієнт стійкості у всіх досліджуваних точках визначається за формулою:

$$K = \frac{\sigma_e}{R_c}. \quad (2)$$

На основі виконаних розрахунків побудовані діаграми, що демонструють зміну коефіцієнта стійкості на кожному досліджуваному відрізку (рис. 2).

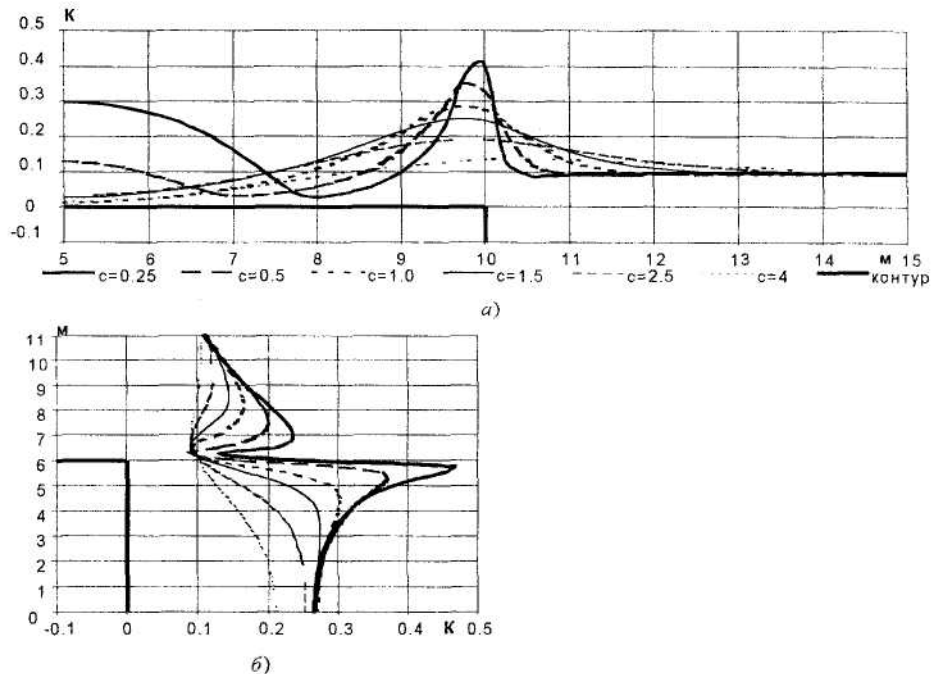


Рис. 2. Розподіл коефіцієнта стійкості породного масиву вздовж відрізків, розташованих на відстані c_i від контуру камери: а) паралельно покрівлі; б) паралельно до боків

Аналіз діаграм показує, що найменшу стійкість має породний масив поблизу кутів камери (у точці (10,25; 5,75) $K = 0,467$; у точці (10,0; 6,25) $K = 0,406$), а також над центром покрівлі (у точці (5,0; 6,25) $K = 0,3$ (рис. 1 і 2)).

Таким чином, дослідження порідного масиву навколо камер великого перерізу з використанням методу граничних елементів, допомагають виявляти зони з максимальною концентрацією напружень, що дає можливість керування станом приконтурних порід для забезпечення максимальної стійкості підземних споруд.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пустовойтенко В.П. Освоение подземного пространства – важнейшая задача развития крупных городов Украины // Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов: Материалы международной конференции. – Днепропетровск: ПГАУ, 1996. – С. 3–13.

2. Уланова Н.П. Оптимизация параметров камерной системы разработки пыльных известняков. Автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.15.02. – Днепропетровск, 1990. – 17 с.
3. Усатенко А.В. Обоснование рациональных параметров камерной системы разработки при слоевой выемке пыльных известняков. Автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.15.02. – Днепропетровск, 1989. – 21 с.
4. Глухов Н.Д. Физико-технические основы освоения подземного пространства Крыма. Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 1996. – 353 с.
5. Шашенко А.Н., Кухарев Е.В., Глухов Н.Д., Похилова О.Г. / Положительное решение от 31.01.92 по заявке № 4872098/035 (068432).
6. Мартиненко С.В., Гавриш А.К. Аналіз впливу технології проведення виробок на їх стійкість. // Науковий вісник НГАУ. – 1999. – №6. – С. 35–37.
7. Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твердого тела. – М.: Мир, 1987. – 328 с.
8. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве. – Дис....д-ра техн. наук. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.

ГАВРИШ Артем Костянтинович – аспірант Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

– механіка гірських порід.

Тел.: (0562) 45-99-83.

E-mail: gavrish_a@yahoo.com.

РОЄНКО Анатолій Миколайович – доктор технічних наук, професор Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

– шахтне та підземне будівництво.

Тел.: (0562) 47-77-21.

E-mail: ShashenkoA@nmuu.dp.ua.

Подано 12.04.2002