

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ СТЕЛИН  
В ПІДЗЕМНИХ ВИРОБКАХ КАМЕРНОГО ТИПУ**

*Викладено результати моделювання на еквівалентних матеріалах стійкості стелин камер. Показано, що запас їх міцності знаходиться в експонентній залежності від величини коефіцієнта бічного розпору.*

Основними несучими елементами камерної системи розробки корисних копалин є цілики і стелини, при цьому важливою задачею є забезпечення таких параметрів несучих елементів, які гарантували б довгострокове і безпечне їх функціонування. Ця обставина і визначає необхідність розробки нових технологій та устаткування, що забезпечуватимуть максимальний коефіцієнт використання без збитку для стійкості виробки.

При лабораторних дослідженнях у механіці гірських порід, що вивчає об'єкти значних розмірів, застосовують моделювання, пов'язане зі зменшенням абсолютних розмірів об'єктів. Особливе поширення при дослідженні геомеханічних процесів у даний час отримав найбільш опанований метод моделювання на еквівалентних матеріалах [1, 2]. Сутність його полягає в тому, що модель породного масиву, що містить виробки, створюється зі штучних матеріалів, міцність і модуль деформації яких зменшені у визначеній пропорції стосовно таких же натурних величин. Ця пропорційність встановлюється відповідно до прийнятого масштабу. Напружений стан у породному масиві, що моделюється, для конкретних умов створюється, в основному, за рахунок відповідного навантаження. Таким чином, для дослідження напружено-деформованого стану (НДС) породного масиву поблизу контуру гірських виробок був застосований метод моделювання на еквівалентних матеріалах.

Як уже відзначалося, важливим елементом, що забезпечує безпеку і довговічність експлуатації підземних об'єктів, є стелини камер. У камерних системах розробки основні виробки представлені камерами, що мають простий прямокутний обрис зі звичайною плоскою стелиною різної потужності. Навантаженням на стелину є власна її вага і навантаження від порід, що налягають (наносів). У рамках виконаних лабораторних досліджень оцінена стійкість стелини як несучої конструкції. В залежності від глибини розташування виробки, властивостей і будови гірського масиву форми прогнозованої втрати стійкості виробки (руйнування стелини) можуть бути різними.

У нашому випадку розглядалися незакріплені камери, розташовані в нетріщинуватому породному масиві типу кримських вапняків. Об'ємні і зовнішні сили, що діють на виробку, можна розкласти на дві складові – вертикальну і горизонтальну (бічні розпори) – при цьому напруги на контурі виробки визначаються як сума напруг при дії кожного з навантажень у геометрично подібній точці моделі.

Геометричний масштаб моделювання був прийнятий рівним 1:50. Для проведення досліджень приймалися типові розміри поперечного перерізу виробок, у цьому випадку поперечний переріз камери мав максимальний розмір – 10 см.

Натурний матеріал, що моделюється, – мшанковий вапняк – характеризується такими фізико-механічними властивостями: модуль пружності  $E = 8,9$  ГПа, коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0,3$ , межа міцності на одноосьовий стиск  $\sigma_c = 4,7$  МПа, на розтяг –  $\sigma_p = 1,1$  МПа. Ці параметри були прийняті як вихідні для підбору еквівалентного матеріалу; перевага була віддана піщано-парафіновій суміші, позитивними особливостями якої є: однорідність фізико-механічних властивостей еквівалентного матеріалу, незмінність і незалежність механічних властивостей матеріалу від вологості, зручність формування шарів у моделі завдяки високим пластичним властивостям суміші в розігрітому стані.

Для визначення основного складу і дозування складових суміші, що задовольняє вимогам до еквівалентного матеріалу, проводилася серія визначень міцності різних сумішей на одноосьовий стиск із метою визначення міцності, модуля пружності та коефіцієнта Пуассона. Дослідження проводилися на кубиках з лінійними розмірами граней 70,7 мм і площею поперечного перерізу 50 см<sup>2</sup>. Зразки-кубики роздавлювалися за допомогою малогабаритного механічного преса, що дозволяє реєструвати навантаження і відповідні йому деформації на зразку матеріалу. Еквівалентним складом, що найбільш повно відповідає фізико-механічним характеристикам досліджуваних порід, була визнана піщано-парафінова суміш з добавкою графіту і технічного вазеліну в процентному співвідношенні 96,8:2:0,7:0,5 відповідно.

Роботи виконувалися в лабораторії моделювання і конструкційних матеріалів кафедри будівельних геотехнологій і конструкцій Національної гірничої академії України на спеціальному плоскому стенді, який дозволяє створювати навантаження, певним чином розподілене по контуру виробки. Габаритні розміри стенда такі: довжина – 2900 мм; ширина – 1400 мм; висота – 2070 мм.

Модель масиву формувалася шарами товщиною по 5 см, їх паралельність і необхідний кут нахилу ( $0...9^\circ$ ) забезпечувалися застосуванням шаблона, а ущільнення кожного шару відбувалося внаслідок статичного прикладення вантажу масою 20 кг.

Після того як модель породного масиву сформована, зверху встановлюється пуансон і прикладається вертикальне навантаження інтенсивністю 0,05 МПа, що відповідає глибині розташування камер – приблизно 100 м. Бічна пригрузка такої ж інтенсивності створювалася за допомогою гвинтових домкратів. У такому стані модель витримувалась протягом однієї години. Потім усе навантаження знімається, убираються пуансон і передня стінка стенда. На поверхню моделі наноситься за допомогою крейди і шнура прямокутна мірна сітка розміром 2х2 см, що служить надалі для вивчення деформацій. В центральній частині моделі масиву “проходиться” система камер із залишенням між ними ціликів визначених розмірів. Потім на стенді знову закріплюється передня стінка з оргскла, ребра жорсткості і встановлюється пуансон. Навантаження задається з інтервалом 0,05 кН. Деформації сітки і контурів камер, що виникають при цьому на кожному етапі, знімаються фотоапаратом, зафіксованому в одній точці.

Залежність, що якісно відбиває поведінку породного масиву і досліджуваних варіантів камер як функція зовнішнього навантаження, будується після вивчення (при 5-кратному збільшенні) деформації якого-небудь фіксованого елемента сітки. Вихідні квадрати виділяються в стінках і стелинах камер. Кількісна оцінка величини деформацій масиву виконувалась шляхом виміру горизонтальних і вертикальних зсувів контурів камер на початку і в кінці кожного етапу навантаження.

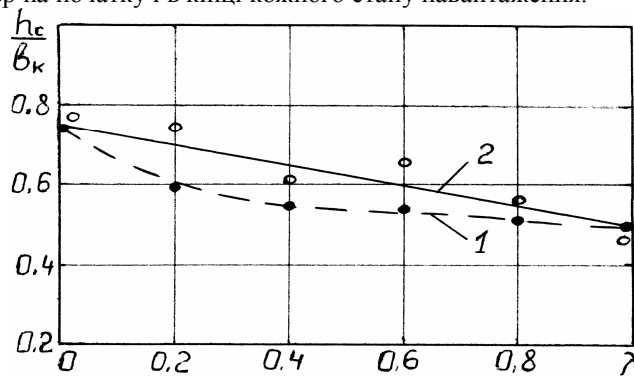


Рис. 1. Результати математичного (1) і лабораторного (2) моделювань

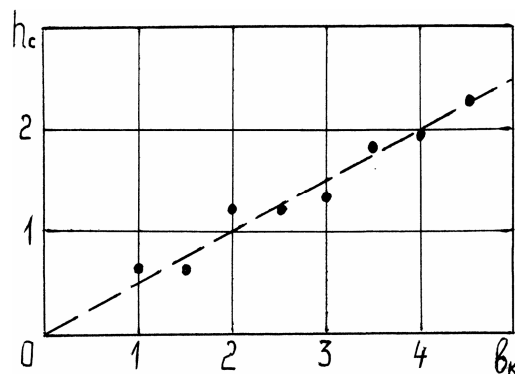


Рис. 2. Залежність висоти склепу обвалення від ширини камери ( $\lambda = 1$ )

Метою іспитів була якісна оцінка можливості забезпечення надійної та довгострокової стійкості стелін камер при різних співвідношеннях вертикальної й горизонтальної складових бічного тиску, тобто негідростатичного початкового поля напруг. Дослідження показали, що висота склепу обвалення  $h_c$  залежить від ширини камери  $b_k$  і коефіцієнта бічного розпору  $\lambda$ . Узагальнені результати моделювання й апроксимуючі графіки наведені на рис. 1 і 2.

Таким чином, моделювання на еквівалентних матеріалах підтвердило вірність аналітичних розрахунків, виконаних в [3–5]. Встановлено, що стійкість виробки камерного типу не залежить від потужності несучого шару і наносів, тобто від глибини закладення виробки, а запас міцності стелини великої потужності знаходиться в експонентній залежності від величини коефіцієнта бічного розпору.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Кузнецов Н.Г.* Экспериментальные методы исследования вопросов горного давления // Тр. совещания по управлению горным давлением. – М.: Углетехиздат, 1948. – 221 с.
2. *Ильштейн А.М.* Закономерности проявления горного давления. – М.: Углетехиздат, 1958. – 272 с.
3. *Шашенко А.Н.* Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве. Дис...д.т.н. – ДГИ: Днепропетровск, 1988. – 507 с.
4. *Пустовойтенко В.П.* Геотехнічне забезпечення підземного будівництва в Україні. – К.: Наукова думка, 1999. – 264 с.
5. *Новикова Л.В., Пустовойтенко В.П., Сдвижкова Е.А.* Вероятностная оценка прочности в расчете целиков и потолочин камер // Науковий вісник НГА України. – 2001. – № 3. – С. 3–5.

ПУСТОВОЙТЕНКО Валерій Павлович – кандидат технічних наук, міністр транспорту України.

Наукові інтереси:

– проблеми геомеханічного забезпечення підземного будівництва.

Тел. (0562) 45-99-72, 47-13-72 (факс)

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

Подано 29.11.2001