

УДК 622.831.001

**В.І. Бондаренко, В.М. Почепов, Л.Я. Фомичова, В.В. Фомичов**

**ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ УМОВ КОНТАКТУ ЕЛЕМЕНТІВ ГЕОМЕХАНІЧНОЇ  
МОДЕЛІ “ШАРУВАТИЙ МАСИВ – КРІПЛЕННЯ ВИРОБКИ” НА РЕЗУЛЬТАТИ  
ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Наведено аналіз поведження моделей розрахункових схем обчислювального експерименту, використовуваних при рішенні задач геомеханіки методом кінцевих елементів.

Приведен анализ поведения моделей расчетных схем вычислительного эксперимента, используемых при решении задач геомеханики методом конечных элементов.

The analysis of behavior of models of settlement schemes of computing experiment of problems of geomechanics used at the decision is resulted by a method of final elements.

**Актуальність.** Забезпечення стійкості підготовчих виробок неможливо без докладного аналізу гірничо-геологічних умов, в яких вони експлуатуються. Основою такого аналізу можуть бути натурні спостереження, лабораторні або обчислювальні експерименти. На даний момент розвиток технологій обчислювального експерименту дозволяє зі значним ступенем точності розв'язувати широкий спектр прикладних задач, у тому числі і задачі геомеханіки.

Обчислювальний експеримент робить можливим в короткі строки і при незначних матеріальних витратах розглянути велику кількість комбінацій гірничо-геологічних і технологічних показників експлуатації виробки. Аналіз результатів дозволяє вибрати місцеположення виробки в гірському масиві, її переріз і тип вживаного кріплення.

Ахіллесовою п'ятою обчислювального експерименту в задачах геомеханіки є вибір адекватних умов контакту між окремими елементами розрахункової схеми. Часто в дослідженнях нехтують цими особливостями, що може викликати значні відхилення результатів розрахунків від реальної картини переміщень і розподілу напружень в системі «гірський масив – кріплення виробки».

Результатом низького рівня адекватності розрахункової моделі реальним умовам експлуатації виробки стають епюри напружень і переміщень системи, які погано відображають реальний стан, «гірський масив – кріплення виробки» і, як наслідок, на основі аналізу отриманих даних, прийняття помилкового рішення щодо способу експлуатації виробки.

**Основна частина.** Під час проведення обчислювальних експериментів, результати яких наведені в [1-3] була виконана низка розрахунків, основним призначенням яких стало визначення ступеня впливу різноманітних особливостей моделей на результат обчислень. Отримані дані однозначно вказують на те, що найвідчутніше на НДС системи здійснюють вплив умови контакту між елементами розрахункової схеми.

При проведенні початкових тестових обчислень, метою яких було визначення оптимальних розмірів і граничних умов розрахункових моделей, були отримані наступні результати (рис. 1):

– при пружній постановці задачі (рис. 1,а), коли допустимі переміщення виробки малі, і тип граничних умов та лінійні розміри моделі істотно не впливають на зміну контуру виробки. Це дозволяє при розв'язанні пружної задачі не приділяти особливої уваги вибору типу граничних умов і розмірів розрахункової моделі;

– при пружнопластичній постановці задачі (рис. 1,б і в), зростання переміщень контуру виробки в значній мірі залежить від комбінації граничних умов – «жорсткі» умови забезпечують більш інтенсивне зростання напружень і зменшення лінійних приростів по горизонталі, що у низці розрахунків не компенсується вертикальною складовою НДС розрахункової моделі;

– при ширині виробки на рівні ґрунту від 4 до 5 м збільшення ширини моделі з 40 м (рис. 1,б) до 200 м (рис. 1,в) без зміни граничних умов призводить до значного зростання переміщень контуру виробки. Подальше збільшення ширини моделі не призводить до зростання переміщень контуру виробки.

Оскільки обчислювальні експерименти проводилися для натурних умов шахт об'єднання ТОВ «Павлоградвугілля», одною з цілей ставилося визначення і прогнозування стану вже існуючих підготовчих виробок і встановлення адекватності отриманих результатів натурним спостереженням.

Адекватність обчислювальних експериментів реальним умовам експлуатації виробки визначалася на основі порівняння контурів виробки, які спостерігалися в умовах шахти, і результатів розрахунків. Як показали розрахунки і їх порівняння з натурним станом виробок, прийнятних показників зміни контуру виробки в обчислювальному експерименті можна досягти лише при максимально точному описі умов контакту різних елементів моделі.

## Надбання наукових шкіл

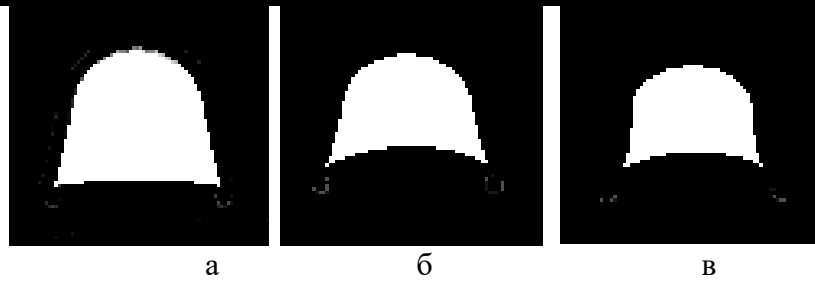


Рис. 1. Зміна розрахункового контуру виробки залежно від постановки задачі та розмірів моделі: а – пружна задача, ширина моделі 40 м; б – пружнопластична задача, ширина моделі 40 м; в – пружнопластична задача, ширина моделі 200 м

Деформація вертикальних стояків кріплення КШПУ, яка спостерігалась в умовах шахти (рис. 2), була отримана при проведенні обчислювального експерименту лише після встановлення наступних умов контакту: взаємне прослизання рамного кріплення та порід, які створюють боки та склепіння виробки, з малим коефіцієнтом тертя; контакт без зв'язків між порідними шарами, розташованими в підшві виробки та під нею.

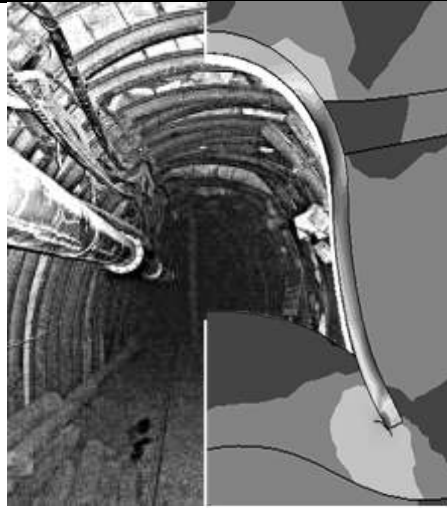


Рис. 2. Порівняння деформацій стояків кріплення в умовах шахти та в результаті розрахунку

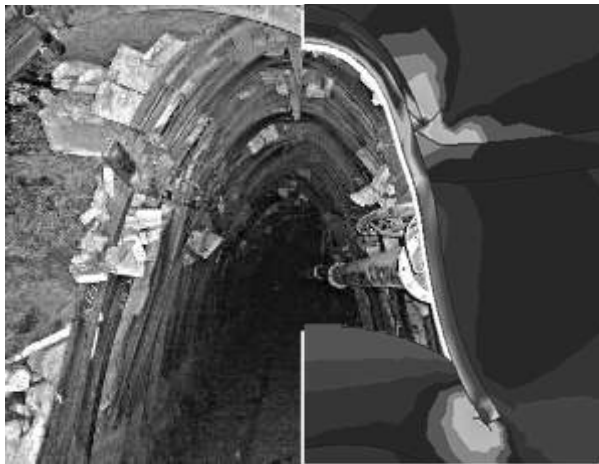
У правій частині рис. 2 наведено фрагмент перерізу розрахункової моделі, адекватної реальним умовам. Як видно, у формуванні деформацій бокових стояків кріплення активну участь прийняли здимаючі породи в підшві виробки. На рис. 2 частину цієї породи видалено в результаті підривання, а в моделі добре видно як деформується ділянка бічного стояка кріплення, затиснена між породами в боках і підшві виробки.

У ході проведених розрахунків не вдалося повною мірою реалізувати в розрахунковій моделі стан кріплення (рис. 3). Як видно, правий бічний стояк кріплення, зірвавши хомути, відійшов від бічної поверхні виробки, таким чином кріплення втратило свою конструктивну цілісність.

Раціонально, з погляду проведення обчислювального експерименту, виконати моделювання подібного процесу надто складно. Тому для підвищення точності моделі у кріпленні по місцю розташування хомутів був заданий вузол податливості у вигляді контактної майданчика з обмеженим діапазоном подовжніх переміщень. Результат наведений у правій частині рис. 3.



*Рис. 3. Вплив відсутності вузла податливості рамного кріплення в розрахунковій моделі на форму контуру виробки*



*Рис. 4. Порівняння зміни контуру виробки в натурних умовах та в результаті розрахунку*

На рис. 4 видно, наскільки якісно і кількісно точно отримані результати розрахунків відповідають реальному гірничо-геологічному і технологічному стану вибраної виробки. Даний результат був отриманий лише після застосування умов контакту елементів кріплення та приконтурних порід виробки у вигляді складного закону розподілу сили тертя по поверхні контакту і моделювання незначного зазору між породою і верхньою секцією рамного кріплення. При цьому розподіл напружень в тілі рамного кріплення кардинально змінюється при заміні одного виду контактних умов на інший, а величини максимальних стискуючих і розтягувальних напружень коливаються в межах 250%.

При проведенні розрахунків для моделі, в якій кут падіння вугільного пласта склав  $5^\circ$ , особливо відчутно на зміну контуру виробки вплинули умови контакту між вугільним пластом та прилеглими до нього порідними шарами.



Рис. 5. Вплив кута падіння на зміну контуру виробки при взаємному прослизанні порідних шарів

Як видно з рис. 5, при взаємному прослизанні порідних шарів і вугільного пласта, контур виробки змінюється несиметрично відносно вертикальної осі, а на відрізках виходу вугільного пласта по контуру виробки спостерігаються значні локальні переміщення. Цей ефект відсутній в умовах жорсткого зв'язку сусідніх порідних шарів і вугільного пласта.

**Висновки.** Широкий спектр проведених обчислювальних експериментів за оцінкою напружено-деформованого стану системи «шаруватий масив – кріплення виробки» та подальший їх аналіз показали:

- зміна умов контакту елементів розрахункової схеми в зоні, яка примикає до контуру виробки, в задачах з пружнопластичною постановкою та урахуванням властивостей реологій порід, призводить до значної зміни форми контуру виробки, одержаної в результаті розрахунку;

- у шаруватому масиві умови контактів літологічних різниць значно впливають на розподіл горизонтальних напружень та є одним з визначальних факторів формування межі зони пластичних деформацій;

- вибір умов контакту елементів кріплення та контуру виробки більшою мірою впливає на розподіл напружень в самому кріпленні, ніж в прилеглому гірському масиві;

- використання у розрахунковій моделі умов контакту з взаємним прослизанням прилеглих поверхонь, у переважній кількості обчислювальних експериментів призводить до зниження максимальних напружень і зростання результуючих переміщень;

- при лінійних розмірах розрахункових моделей, які перевищують в 40 разів максимальний лінійний розмір контуру виробки, впливом умов контакту на межі розрахункової області можна нехтувати.

### Список літератури

1. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Кн. I. Допредельная стадия деформирования системы «порода – крепь» / Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Фомичев В.В. – Д.: Системные технологии, 2006. – Ч. I. – 172 с.

2. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Кн. II. Предельное и запредельное состояние системы «порода – крепь» / Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Фомичев В.В. – Д.: Системные технологии, 2007. – Ч. II. – 198 с.

3. Прогноз перемещений контура пластовой выработки в слоистом массиве слабых пород / Бондаренко В.И., Ильяшов М.А., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др. – Д.: Системные технологии, 2008. – 194 с.