

С.М. Гапеев, к.т.н., доц.,  
Р.М. Терешук, к.т.н., доц. (НГУ),  
І.Д. Белкін (ВАТ „Спецшахтбуд”)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ КРІПЛЕННЯ  
У ГЕОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ «РУДНИЙ МАСИВ-НАРІЗНА  
ВИРОБКА» І «РУДНИЙ МАСИВ-БУРОВА ВИРОБКА»  
ДЛЯ УМОВ ЗАТ «ЗАПОРІЗЬКИЙ ЗРК»**

Приведены результаты лабораторного моделирования с использованием многокомпонентных эквивалентных материалов напряженно-деформированного состояния геомеханических систем «нарезная выработка-рудный массив-крепь» для условий ЗАО «Запорожский ЖРК»

**RESEARCHES OF FEATURES IN FUNCTIONING OF SUPPORT  
IN THE GEOMECHANICS SYSTEMS A «ORE MASS-BREAKOFF»  
AND «ORE MASS-DRILLING WORKING»  
FOR THE TERMS OF THE JSC «ZAPOROZHSKY ZHRK»**

The results of laboratory modeling of the mode of deformation of the geomechanics systems a «ore mass-breakoff» and «ore mass-drilling working» for the terms of JSC «Zaporozhsky ZHRK» with the use of multicomponent equivalent materials are presented

**Вступ.** Одним з методів дослідження складноструктурних об'єктів є моделювання в лабораторних умовах різних фізичних процесів. Методи моделювання досить широко використовуються в багатьох галузях науки і техніки. Стосовно механіки підземних споруд ці методи дозволяють з'ясувати основні якісні елементи механізму процесів зрушення, деформації і руйнування гірських порід при веденні очисних і підготовчих робіт.

Мета моделювання полягає у відтворенні і вивченні на моделі фізичного процесу, подібного до того, що відбувається в натурних умовах. Метод моделювання дозволяє на зменшених або збільшених по відношенню до дійсності моделях проводити детальні якісні і кількісні дослідження процесу, що вивчається.

На сьогоднішній день, враховуючи складність механічних процесів, що відбуваються в товщі порід при проведенні виробки, методи моделювання продовжують залишатися необхідною ланкою досліджень.

Найбільш зручним для дослідження проявів гірського тиску є метод моделювання на еквівалентних матеріалах. Моделювання на еквівалентних матеріалах дозволяє з великим ступенем детальності прослідкувати механізм процесів в товщі порід під час руху вибою виробки, особливо процесів деформації порід із розривом суцільності, що зазвичай виключено при інших методах моделювання. Внаслідок цього метод еквівалентних матеріалів є найбільш дієвим, завдяки чому він отримав широке застосування при вирішенні різних задач механіки гірських порід.

**Метою цієї статті** є опис параметрів, методики і аналіз результатів моделювання на еквівалентних матеріалах геомеханічних систем «нарізна вироб-

ка-рудний масив» для умов ЗАТ «Запорізький ЗРК» з метою відпрацювання раціональних параметрів кріплення таких складних об'єктів як нарізні виробки, при видобуванні залізняка камерами із закладкою виробленого простору.

**Основна частина.** Як еквівалентний матеріал була прийнята песчано-парафіно-графітова суміш з додавання технічного вазеліну [1].

В ході досліджень було випробувано 10 різних складів еквівалентного матеріалу. Для кожного складу було проведено 6 серій випробувань. В результаті визначені склад, який за своїми фізико-механічними параметрами найповніше відтворює властивості рудного масиву, який розробляється ЗАТ «ЗРК»: пісок – 91,5 %, парафін – 7,2 %, графіт – 0,9 %, технічний вазелін – 0,4 % по масі.

За умови задоволення всіх критеріїв подоби для еквівалентних матеріалів і забезпеченні геометричної подоби природи і моделі збіг механічних процесів може бути забезпечений при подібності граничних умов. Дотримання ж граничних умов по торцях моделі неможливе, проте, через відомий принцип Сен-Венана, можна стверджувати, що роль торців стає свідомо малою на відстанях від них, рівних висоті моделі. Тому під час моделювання виміри величин зсувів контуру виробки і деформацій кріплення є достовірними тільки на її середній частині. Відстань від підготовчої виробки до крайової частини стенду складала 25 см.

Модель формувалася у вигляді однорідного рудного масиву, в центрі якого розташована виробка. Навантаження в моделі задавалося тільки зверху в межах від 0,0 до 8,3 кН.

Прилади, що імітують роботу кріплення в моделях, повинні, з одного боку, забезпечувати основні вимоги геометричної, кінематичної і силової подоби, а з іншого боку, відтворювати в моделі в потрібній послідовності і у відповідних місцях виробки всі операції з встановлення, зняття і пересування кріплення в умовах, близьких до натурних.

Як основне кріплення нарізної виробки використовувалася модель анкерного кріплення, виготовлена з мідного дроту. Технологія встановлення анкерів була прийнята близькою до натурної, тобто шпур під анкер з геометричними параметрами: довжина анкера 50 мм, діаметр 0,5 мм, опорна плитка 4 x 4 мм – пробурювали на моделі після її виготовлення, в свердловину шприцом вводили розчин, відтворюючий дію закріплюючого розчину, а далі вставляли стрижень, що імітує анкер. В якості розчину, що закріплює анкер в свердловині, використовували силікатний клей, який був підібраний таким чином, що зусилля висмикування анкера в моделі відповідало в перерахунку за масштабом моделі зусиллю висмикування в натурі і складало 180-240 грам. Ступінь міцності еквівалентного матеріалу і зусилля висмикування визначалися на блоках, вирізаних з основної моделі.

В якості сталевих сіток використовувалася тканинна сітка, яка фіксувалася в місці встановлення разом з анкерами – таким чином моделювалося анкерне кріплення з сіткою.

Набризкбетонне покриття моделювалося сумішшю силікатного клею і по-

дрібненого, промитого від домішок і висушеного піску. Подрібнення необхідних навішувань піску проводилося в лабораторному струменевому млині, що є на кафедрі збагачення корисних копалини Національного гірничого університету. Готову рухому суміш наносили на поверхню моделі гірничої виробки за допомогою плоскої вузької щітки. Після нанесення тонкого шару суміші модель витримувалася протягом 5-10 хвилин, після чого знову наносився черговий шар суміші і так далі до досягнення необхідної товщини «набризкбетонного» покриття відповідно до масштабу моделювання.

Модель формувалася шарами завтовшки 5-10 мм. Для створення «монолітності» при імітації однорідного масиву укладання еквівалентного матеріалу проводиться таким чином: після укочування першого шару поверхня його розпущується, щоб створити шорсткість для кращого зв'язку з подальшим шаром, і відразу ж закочується новий шар, який таким чином створює загальний моноліт з попереднім шаром. Ущільнення кожного шару відбувається унаслідок статичного додавання вантажу вагою 0,2 кН.

У разі імітації тріщин і подібних неоднорідностей, коли має місце ослаблення контакту між шарами, на межі шарів, що укладаються в модель, закладаються дві смужки з кальки, що ковзають одна по іншій при деформації моделі.

Ослаблення масиву вибуховими роботами моделювалося закладанням відрізків вощеного паперу в тіло моделі на відстані, рівному напівпрольоту виробки – в боків, і висоті виробки – в покрівлі. Відрізки розташовувалися у моделі випадковим чином, тим самим моделюючи наявність тріщин, заповнених гематитовим матеріалом. Наявність тріщин в деякій області моделі послаблювала стійкість цієї області і відповідним чином впливала на стійкість частини моделі, що залишилася. При розміщенні елементів ослаблення стежили за тим, щоб відрізки паперу не заминалися і не накладалися, але контакт елементів, що ослабляють, допускався.

Для імітації похилих шарів при укладанні еквівалентного матеріалу в модель використовуються спеціальні шаблони і похила трамбівка.

Після того, як модель порідного масиву сформована, зверху прикладається навантаження інтенсивністю 0,65 кН. У такому стані модель витримується протягом однієї години. Потім навантаження знімається, забирається передня стінка стенду. Далі на поверхню моделі наноситься за допомогою шнура і крейди прямокутна мірна сітка з розмірами квадратів 2x2 см. Потім в моделі «проходяться» виробки, кількість і взаємне положення яких визначається планом проведення експерименту. Висота і ширина виробок складала, в перерахунку на натуру, 3,3 і 4,5 м відповідно. Після цього на стенді закріплюється передня стінка з оргскла, ребра жорсткості і за допомогою важільних домкратів модельований масив піддається навантаженню. Навантаження задається з інтервалом в 0,05 кН. Граничне навантаження, при якому зупинявся процес, складало 8,3 кН.

Деформації мірної сітки, що виникають при цьому, реєструвалися фотоапаратом, встановленим в одному положенні на час всього експерименту. Які-

сна картина поведінки масиву будувалася на підставі вивчення змін фіксованого квадрата мірної сітки на фотознімках. Крім того, вимірюванню піддавалися відстані від фіксованої точки в межах перерізу виробки до фіксованих точок на боках, покрівлі і підосви виробки, а також відстань від контуру виробки до межі ділянок «рудного масиву» в його товщі, в межах якого спостерігалася істотна деформація тіла моделей.

З метою отримання достовірних даних при проведенні серії експериментів на моделях з еквівалентних матеріалів були застосовані положення теорії планування експерименту [2, 3]. Необхідна кількість випробувань визначалася за формулою:

$$n = t_{\alpha}^2 \left( \frac{\eta}{q} \right)^2, \quad (1)$$

де  $t_{\alpha}$  – коефіцієнт Ст'юдента, вибраний за відповідною таблицею [3] залежно від необхідної точності визначення (довірчій вірогідності  $\alpha$ );  $\eta$  – коефіцієнт варіації %;  $q = 1 - \alpha$  – допустиме відхилення %.

При величині довірчої вірогідності  $\alpha = 0,95$  отримаємо значення  $t_{\alpha} = 1,96$  та  $q = 0,05$  і по формулі (1)  $n = 1,96^2 \left( \frac{0,1}{0,05} \right)^2 = 7,68 \approx 8$ .

Таким чином, мінімально необхідна кількість моделей в кожній серії експериментів складає вісім моделей. Всього, з урахуванням відлагодження процесу моделювання, було випробувано шістдесят моделей.

Метою описуваної серії експериментів було встановлення характеру роботи різних видів кріплення в умовах розташування виробки в рудному масиві, послабленому дією вибухових робіт.

Моделювання проходило в два етапи.

На **першому етапі** розглядалося тільки анкерне кріплення з метою вибору оптимальних його параметрів – довжина і крок установки анкерів. Критерієм також була величина вертикальної конвергенції у виробці при різних параметрах кріплення. Розглядалися наступні ситуації:

- 1) крок встановлення анкерів – 0,5 м (2 анк./м); довжина анкера – 1,5 м;
- 2) крок встановлення анкерів – 0,5 м (2 анк./м); довжина анкера – 2,0 м;
- 3) крок встановлення анкерів – 0,5 м (2 анк./м); довжина анкера – 2,5 м;
- 4) крок встановлення анкерів – 1,0 м (1 анк./м); довжина анкера – 1,5 м;
- 5) крок встановлення анкерів – 1,0 м (1 анк./м); довжина анкера – 2,0 м;
- 6) крок встановлення анкерів – 1,0 м (1 анк./м); довжина анкера – 2,5 м;
- 7) крок встановлення анкерів – 1,5 м (0,67 анк./м); довжина анкера – 1,5 м;
- 8) крок встановлення анкерів – 1,5 м (0,67 анк./м); довжина анкера – 2,0 м;
- 9) крок встановлення анкерів – 1,5 м (0,67 анк./м); довжина анкера – 2,5 м;
- 10) крок встановлення анкерів – 2,0 м (0,5 анк./м); довжина анкера – 1,5 м;
- 11) крок встановлення анкерів – 2,0 м (0,5 анк./м); довжина анкера – 2,0 м;
- 12) крок встановлення анкерів – 2,0 м (0,5 анк./м); довжина анкера – 2,5 м.

При цьому передбачалося, що масив не порушений інтенсивними техно-

логічними діями.

На рис. 1-3 представлені результати проведених випробувань моделей першого етапу експериментів.

Як видно з графіків, при збільшенні довжини анкера понад 2,0 м не спостерігається значного приросту стійкості виробки. У реальних умовах застосування анкерних систем з довжиною анкера більше 2,0 м збільшить вартість кріплення і не дасть істотного приросту стійкості. Таким чином, раціональною довжиною анкера є його довжина, що дорівнює 2,0 м (рис. 3), при цьому залежність конвергенції від довжини анкерів при розглянутих ситуаціях добре описується виразом

$$U_e = \frac{a}{1 + be^{-cL_{анк}}},$$

Де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – коефіцієнти апроксимації.

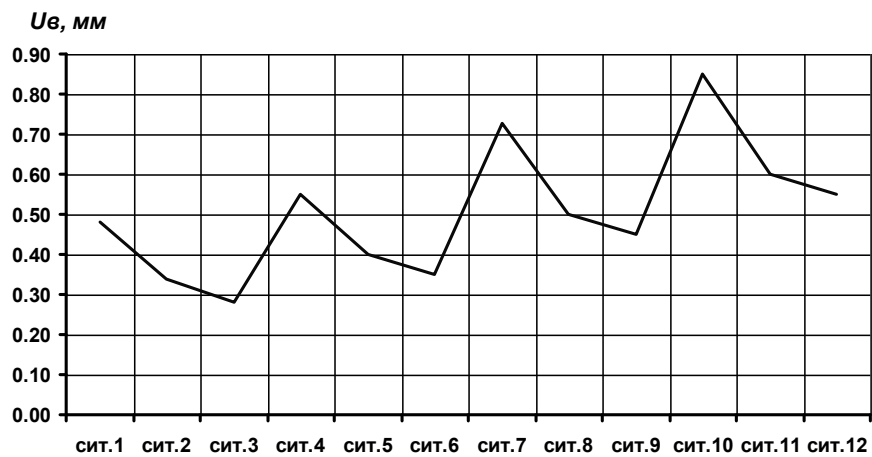


Рис. 1 – Зміна величини вертикальної конвергенції в різних розглянутих ситуаціях при максимальному навантаженні на пуансоні моделі

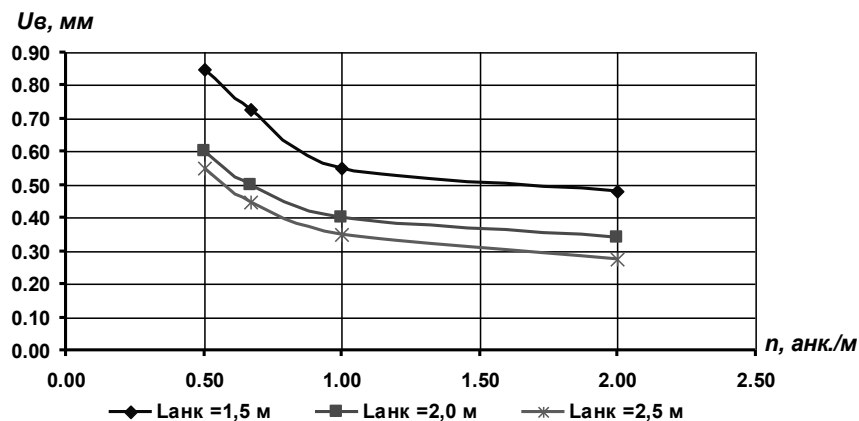


Рис. 2 – Величина вертикальної конвергенції у виробці на моделі залежно від кількості анкерів

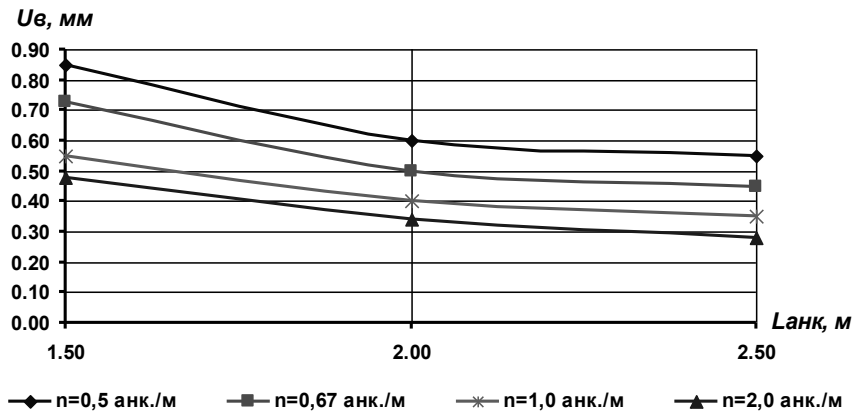


Рис. 3 – Величина вертикальної конвергенції у виробці на моделі залежно від довжини анкерів

На графіку, що характеризує залежність вертикальної конвергенції від кількості анкерів, встановлених у виробці (рис. 2), також спостерігається особлива точка при кількості анкерів 1,0 анк./м, після якої (тобто, при збільшенні кількості анкерів) приріст стійкості незначний: при збільшенні кількості анкерів від 0,5 анк./м до 1,0 анк./м величина вертикальної конвергенції знижується в середньому на 29%, тоді як при збільшенні кількості анкерів з 1,0 анк./м до 2,0 анк./м приріст стійкості в середньому складає всього 13%. Таким чином, як і у випадку з довжиною анкерів, збільшення їх кількості понад 1,0 анк./м не призводить до очікуваного відчутного приросту стійкості, а приведе до збільшення вартості кріплення. Таким чином, раціональна кількість анкерів для даних умов складає 1,0 анк./м. Графік залежності на рис. 2 досить добре може бути описаний виразом

$$U_v = \frac{a \cdot b + c \cdot n^d}{b + n^d},$$

Де  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – коефіцієнти апроксимації.

Слід зазначити, що в експериментах розглядалося анкерне кріплення без введення додаткових підтримуючих елементів або сітки, тому висновки справедливі тільки для випадку анкерного кріплення.

На **другому етапі** моделювання розглядалися наступні ситуації, розбиті на дві серії:

**Серія А** – рудний масив, не підданий інтенсивним технологічним діям:

- виробка, закріплена набризкбетонним кріпленням;
- виробка, закріплена анкерним кріпленням;
- виробка, закріплена кріпленням «анкер+сітка»;
- виробка, закріплена кріпленням «анкер+сітка+набризкбетон».

**Серія Б** – рудний масив, підданий інтенсивним технологічним діям:

- виробка, закріплена набризкбетонним кріпленням;
- виробка, закріплена анкерним кріпленням;
- виробка, закріплена кріпленням «анкер+сітка»;

– виробка, закріплена кріпленням «анкер+сітка+набризкбетон».

У всіх серіях другого етапу параметри анкерного кріплення приймалися наступними: довжина анкера – 2,0 м, і крок встановлення анкерів – по сітці 1,0x1,0 м. Такі параметри були визначені як раціональні в попередній серії експериментів. Критерій, як і раніше – величина вертикальної конвергенції.

Результати експериментів приведені на рис. 4.

Як видно з рисунка, для рудного масиву, не підданого інтенсивним технологічним діям (серія А), набризкбетонне кріплення є достатнім для того, щоб забезпечувати необхідний рівень стійкості виробки, тоді як за наявності послаблюючої дії на масив інтенсивних технологічних дій (серія Б) такий вид кріплення є явно недостатнім – зсуви стають такими, що призводять до порушення суцільності набризкбетонного покриття. У таких умовах доцільним є застосування комбінованих видів кріплення (рис. 4).

Наведені результати все ж таки є частковими і носять швидше якісний, ніж кількісний характер. Для отримання точніших кількісних оцінок даних параметрів необхідне проведення чисельного моделювання, що вимагає розробки відповідних аналітичних і чисельних моделей геомеханічних систем «бурова виробка-рудний масив» і «відрізна виробка-рудний масив».

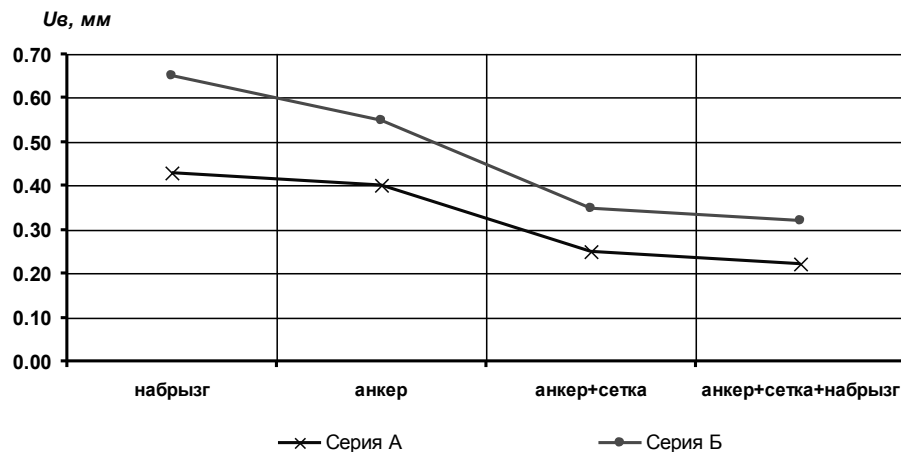


Рис. 4 – Величина вертикальної конвергенції у виробці на моделі при різних видах кріплення

**Висновки.** Наприкінці можна зробити наступні висновки:

1. Підібрано склад еквівалентного матеріалу, що відповідає, з урахуванням масштабу моделювання, реальним умовам розташування нарізних виробок.

2. Розроблена методика формування моделей, створення конструкцій, що моделюють різні види кріплення (анкерне, набризкбетонне, комбіноване). З використанням методів математичного планування експерименту визначена необхідна кількість моделей для випробувань.

3. Аналізом результатів фізичного моделювання встановлено, що у виробках, які моделюють незайманий (не підданий інтенсивним технологічним діям) рудний масив, достатнім видом кріплення є набризкбетонне покриття, ек-

вівалентне реальному завтовшки 50 мм.

4. У виробках, розташованих в порушеному інтенсивними діями масиві, тільки набризкбетонного покриття недостатньо, необхідне застосування комбінованого кріплення, як з набризкбетоном, так і без нього (анкери+сітка).

5. Встановлені раціональна довжина анкерів і щільність їх установки, при яких спостерігається найменше руйнування модельованої виробки: довжина – 2,0 м при установці анкерів по сітці 1,0 м x 1,0 м.

6. Для отримання точніших кількісних оцінок даних параметрів необхідне проведення чисельного моделювання, що вимагає розробки відповідних аналітичних і чисельних моделей геомеханічних систем «бурова виробка-рудний масив» і «відрізна виробка-рудний масив».

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Козин А.М., Рутковская Е.П. Методическое руководство по подбору и испытанию эквивалентных материалов для моделирования. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1974. – 40 с.

2. Засименко В.М. Основи теорії планування експерименту: Навчальний посібник з курсу “Теорія планування експерименту”.– Львів: Вид. Держ. університету “Львівська політехніка”, 2000.– 205с.

3. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное пособие / Л.З. Рушинский.– М.: Наука, 1971.– 192с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком 23.06.09*