

### ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ ПОВТОРНО

**О. М. Шашенко, Н. В. Хозяйкина, О. І. Дубовик**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49000, Україна. E-mail: shashenko.o.m@nmu.one

Повторне використання транспортних підготовчих виробок вугільних шахт сприяє мінімізації експлуатаційних витрат на видобуток вугілля і, відповідно, зменшенню його виробничої собівартості. При цьому виникає у чистому вигляді оптимізаційна задача: зменшення витрат на спорудження додаткової виробки вимагає збільшення витрат на підтримку у експлуатаційному стані виробки, що використовується повторно. Необхідно знайти таке інженерне рішення, при якому стійкість виробки, що використовується повторно, була б достатньою, а вартість заходів в її забезпеченні - мінімальною. Вирішувати поставлену задачу шляхом проб і помилок неможливо, єдиний шлях – це вирішення її чисельними методами. У статті перша частина задачі, яка полягає у обґрунтуванні належних параметрів кріплення, вирішена методом скінчених елементів, що покладений в основу програмного продукту Phase 2 канадської компанії Rocscience. Побудовано і верифіковано геомеханічні моделі на основі натурних досліджень деформацій контуру виробки на різних етапах її існування. В результаті чисельного експерименту визначено параметри комбінованого кріплення на всіх етапах експлуатації виробки: поза зоною впливу лави, у зоні впливу лави, у вікні лави, поза лавою. Отримано залежності зміщень порід покрівлі і подошви в часі, а також зменшення площі поперечного перерізу штреку. Доведено, що поетапно використовуючи анкерні болти різної конструкції і довжини, а також елементи підсилення (кліти, ремонтини тощо), виконавши підрижку, можливо отримати залишковий переріз виробки розміром  $10,4 \text{ м}^2$  у світлі. Цей розмір є достатнім для повторного використання четвертого конвеєрного штреку пласта  $m_4^2$  в гірничо-геологічних умовах ВК «Шахта Краснолиманська».

**Ключові слова:** декарбонізація, витрати, конвеєрний штрек, повторне використання, чисельні методи, параметри кріплення.

### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПОВТОРНО

**А. Н. Шашенко, Н. В. Хозяйкина, А. И. Дубовик**

Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»

просп. Дмитрия Яворницького, 19, г. Днепр, 49000, Украина. E-mail: shashenko.o.m@nmu.one

Повторное использование транспортных подготовительных выработок угольных шахт способствует минимизации эксплуатационных затрат на добычу угля и, соответственно, уменьшению его производственной себестоимости. При этом возникает в чистом виде оптимизационная задача: уменьшение затрат на сооружение дополнительной выработки требует увеличения расходов на поддержку в эксплуатационном состоянии выработки, используемой повторно. Необходимо найти такое инженерное решение, при котором устойчивость выработки, используемой повторно, была бы достаточной, а стоимость мероприятий по ее обеспечению - минимальной. Решать поставленную задачу путем проб и ошибок невозможно, единственный путь - это решение ее численными методами. В статье первая часть задачи, которая заключается в обосновании надлежащих параметров крепления, решена методом конечных элементов, который положен в основу программного продукта Phase 2 канадской компании Rocscience. Построены и верифицированные геомеханические модели на основе натурных исследований деформаций контура выработки на разных этапах ее существования. В результате численного эксперимента определены параметры комбинированного крепления на всех этапах эксплуатации выработки: вне зоны влияния лавы, в зоне влияния лавы, в окне лавы, за лавой. Получены зависимости смещений пород кровли и подошвы во времени, а также уменьшение площади поперечного сечения штрека. Доказано, что, поэтапно используя анкерные болты разной конструкции и длины, а также элементы усиления (клетки, ремонтини т.д.), выполнив подрывку, можно получить остаточное сечение выработки размером  $10,4 \text{ м}^2$  в свету. Этот размер является достаточным для повторного использования четвертого конвейерного штрека пласта  $m_4^2$  в горно-геологических условиях УК «Шахта Краснолиманская».

**Ключевые слова:** декарбонизация, расходы, конвейерный штрек, повторное использование, численные методы, параметры крепи.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Ситуація відносно видобутку і використання вугілля у якості палива для електростанцій носить узагальнюючу назву – «декарбонізація». Її мета – це тотальний перехід на відновлювальні джерела енергії [1, 2, 3], який передбачає закриття вугільних шахт, та переведення частини їх у іншу економічну площину шляхом реалізації технологій, що об'єднані загальною назвою «синхромайнінг» [1, 2, 3]. Цей перехід потре-

бує часу, який за розрахунками експертів сягатиме 2050-го року. За цей період видобуток вугілля можливий тільки при умові зменшення його собівартості, що зробить його конкурентоспроможним відносно газу. Один із шляхів зниження собівартості вугілля, що видобувається підземним способом, є повторне використання підготовчих (конвеєрних) виробок, що домінують у технологічній структурі шахти. Вирішенню актуальних задач, що пов'язані з

указаною проблемою присвячено багато досліджень, що викликані різноманітністю гірничо-геологічних умов розробки вугільних пластів [4, 5].

*Аналіз існуючих досліджень і публікацій.* Повторне використання транспортних підготовчих виробок вугільних шахт сприяє мінімізації експлуатаційних витрат на видобуток вугілля і, відповідно, зменшенню його виробничої собівартості. При цьому виникає у чистому вигляді оптимізаційна задача: зменшення витрат на спорудження додаткової виробки вимагає збільшенню витрат на підтримку у експлуатаційному стані виробки, що використовується повторно. Необхідно знайти таке інженерне рішення, при якому стійкість виробки, що використовується повторно, була б достатньою, а вартість заходів по її забезпеченню – мінімальною.

Вирішувати таку задачу шляхом проб і помилок неможливо, єдиний шлях – це вирішення її чисельними методами [6, 7]. У статті задача, яка полягає у обґрунтуванні належних параметрів кріплення, вирішена методом скінчених елементів, що покладений в основу програмного продукту Phase 2 канадської компанії Rocscience.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** У якості підготовчої виробки, яку планується використати повторно, прийнято четвертий північний конвеєрний штрек пласта  $m_4^2$  ВК «Шахта Краснолиманська».

У процесі експлуатації виробка поступово проходить наступні чотири геомеханічні ситуації:

**Ситуація 1:** 4 північний конвеєрний штрек пласта  $m_4^2$  пройдений перетином  $13,4 \text{ м}^2$ . Кріплення покрівлі виробки здійснювалося сталеполімерними

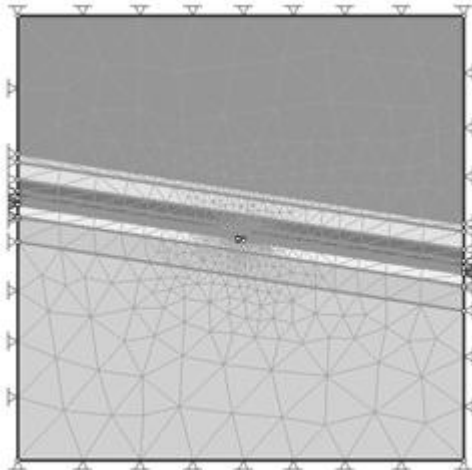


Рисунок 1 – Початкова (нульова) розрахункова схема

У перерізі конвеєрна виробка має форму неправильної трапеції. Для початкової ситуації, коли штрек знаходиться поза зоною впливу лави, потрібно було визначити таку кількість анкерів, при якій зміщення контуру виробки не перевищувало би порогу зривання ( $0,3 \text{ м}$ ) і величина перерізу остаточно втратила би не більше  $10 \%$  від початкової величини –  $13,4 \text{ м}^2$ .

анкерами, додаткове закріплені боки виробки 3-ма полімерними анкерами довжиною  $1,5 \text{ м}$ . Виробка знаходиться під впливом вибою лави. Остаточний переріз штреку дорівнює  $12,2 \text{ м}^2$ .

**Ситуація 2:** у період проходження на рівні вікна виконувалися установка органного ряду, викладка клітей.

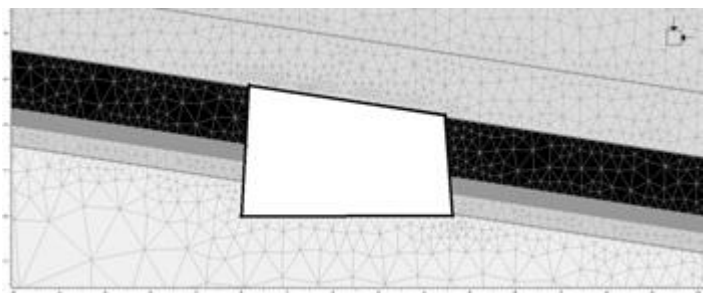
**Ситуація 3:** після проходження лави виконувалось підсилення кріплення стойками з боку лави, а також в перетині виробки. Збереження перерізу штреку до мінімального з  $S_{ce} = 6,5 \text{ м}^2$ .

**Ситуація 4:** виробка знаходиться поза зоною лави під впливом, залишковий переріз дорівнює  $4,5 \text{ м}^2$ . Для забезпечення необхідного перетину (зазорів) виконується підривання порід підшви з розширенням виробки очисного простору, до перерізу  $10,4 \text{ м}^2$  у світлі.

В процесі обчислень аналізувалися кінцеві для кожної ситуації переміщення контуру виробки. Завдання полягало у визначенні таких параметрів кріплення, які дозволяли би повторно використання конвеєрного штреку.

У процесі чисельного експерименту моделюється поетапне зведення елементів кріплення і охорони. Для кожної досліджуваної ситуації вирішується задача плоскої деформації [8, 9].

Початкова (нульова) розрахункова схема наведена на рис. 1. Глибина розташування виробки –  $482 \text{ м}$ , потужність вугільного пласта –  $0,9 \text{ м}$ , кут нахилу –  $8 \text{ град}$ . При цьому можливості програмного продукту дозволяють запам'ятовувати результати попередніх обчислень і використовувати їх при моделюванні наступної ситуації.



На рис. 2 у графічному вигляді наведені результати обчислень, з яких витікає, що величини зміщення контуру виробки у випадку, коли кріплення відсутнє, достатньо великі: максимальна величина підняття порід підшви дорівнює  $0,55 \text{ м}$ , покрівлі –  $0,65 \text{ м}$ , боків –  $0,31 \text{ м}$ . При таких деформаціях слід вважати виробку такою, що втратила стійкість.

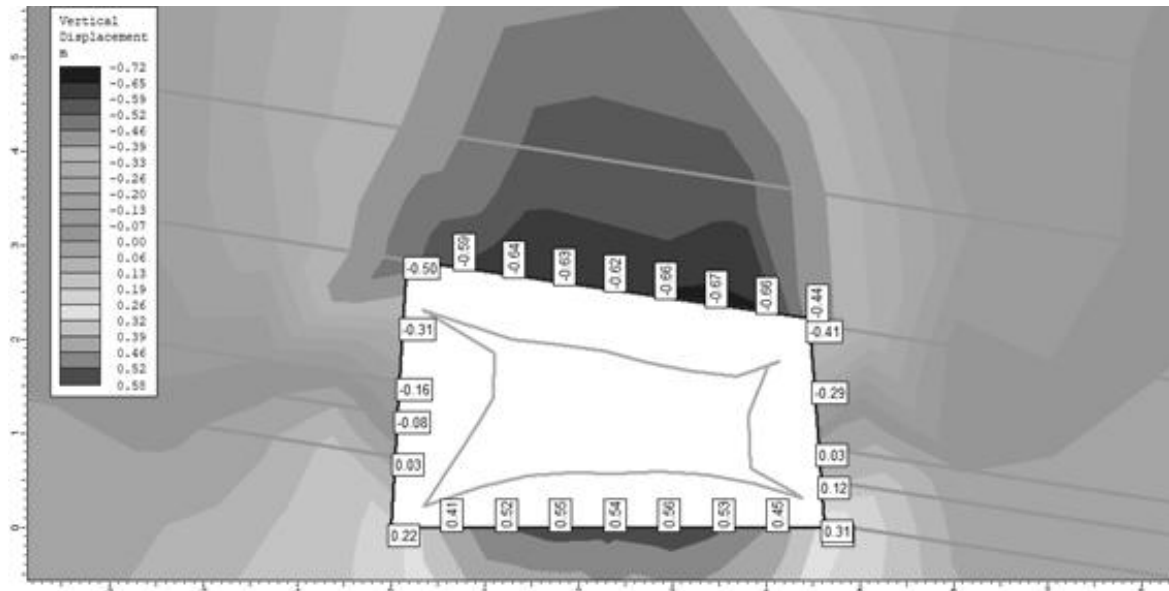


Рисунок 2 – Результати зміщення контуру порід виробки у випадку, коли кріплення анкерами відсутнє (N=0)

Наступним кроком геомеханічних досліджень було моделювання чотирьох проміжних ситуацій, коли послідовно збільшувалась кількість анкерних болтів, їх розташування по контуру, конструкція і матеріал:

- ситуація 1 – чотири сталеполімерні анкери довжиною 2,4 м, діаметром 28 мм встановлено симетрично у покрівлю виробки;
- ситуація 2 – шість сталеполімерних анкерів довжиною 2,4 м, діаметром 28 мм встановлено у покрівлю виробки;
- ситуація 3 – вісім сталеполімерних анкерів довжиною 2,4 м, діаметром 28 мм встановлено у покрівлю виробки;

- ситуація 4 – вісім сталеполімерних анкерів довжиною 2,4 м, діаметром 28 мм, три канатних анкерів довжиною 7 м встановлено симетрично у покрівлю виробки, два полімерних анкери довжиною 1,5 м по боках у вугільний пласт та 3 (2+1) у бокові породи.

Для кожної геомеханічної ситуації обчислювались максимальні величини зміщень порід покрівлі і підшви, а також остаточного перерізу. Результати проміжних обчислень наведені на рис. 3–6, а їх узагальнені залежності на рис. 7.

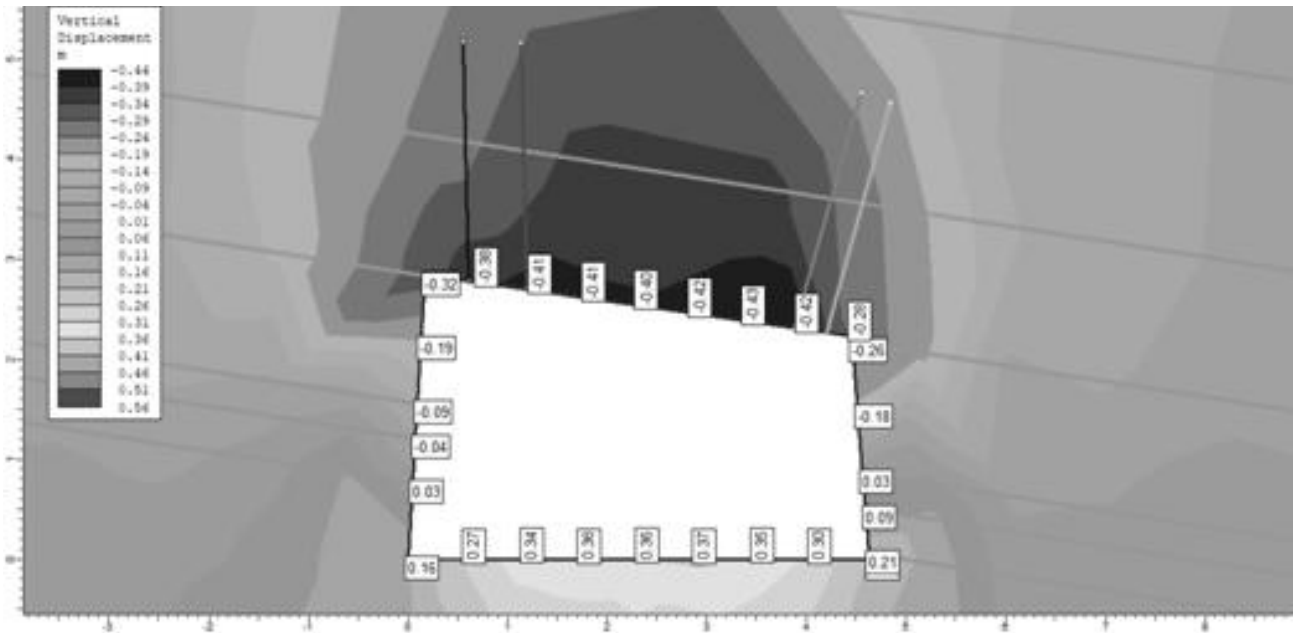


Рисунок 3 – Результати зміщення величин контуру порід виробки у випадку, коли кріплення анкерами виконувалося 4-ма сталеполімерними анкерами у покрівлі виробки, L=2400 мм, діам. 28 мм

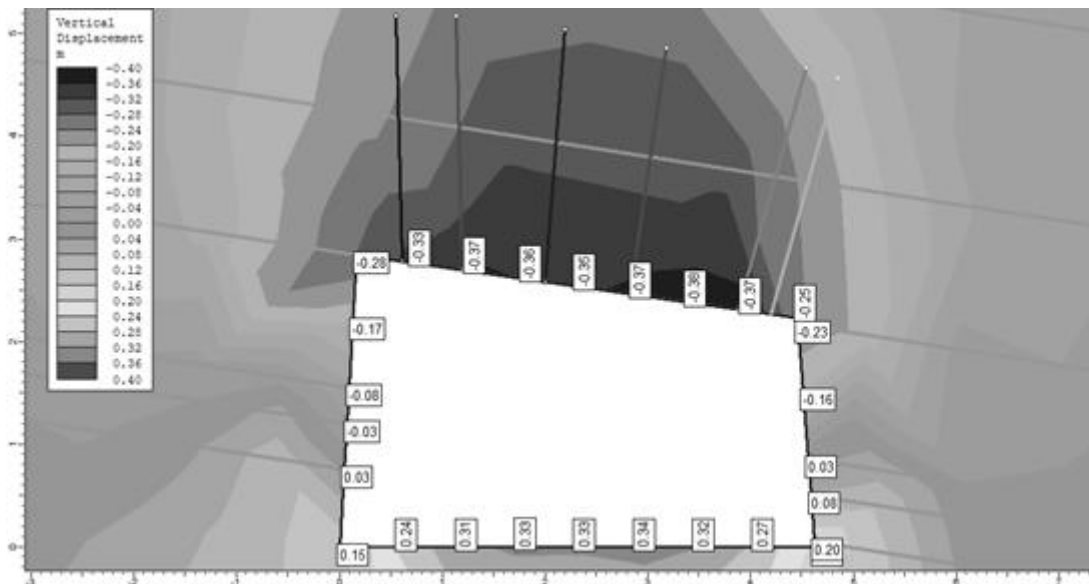


Рисунок 4 – Результати зміщення величин контуру порід виробки у випадку, коли кріплення анкерами виконувалося 6-ма сталеполімерними анкерами у покрівлі виробки,  $L=2400$  мм, діам. 28 мм

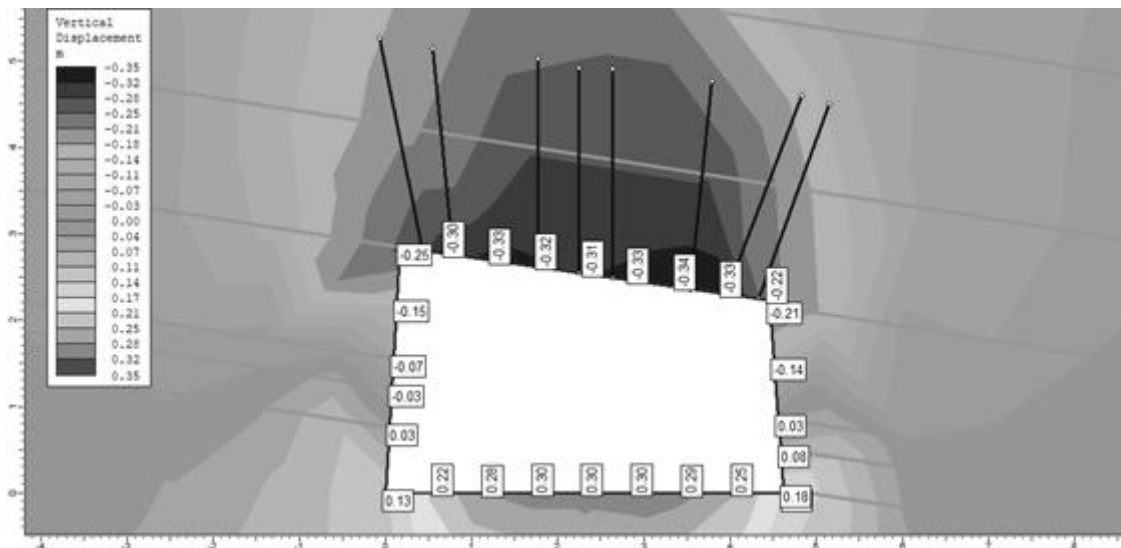


Рисунок 5 – Результати зміщення величин контуру порід виробки у випадку, коли кріплення анкерами виконувалося 8-ма сталеполімерними анкерами у покрівлі виробки,  $L=2400$  мм, діам. 28 мм

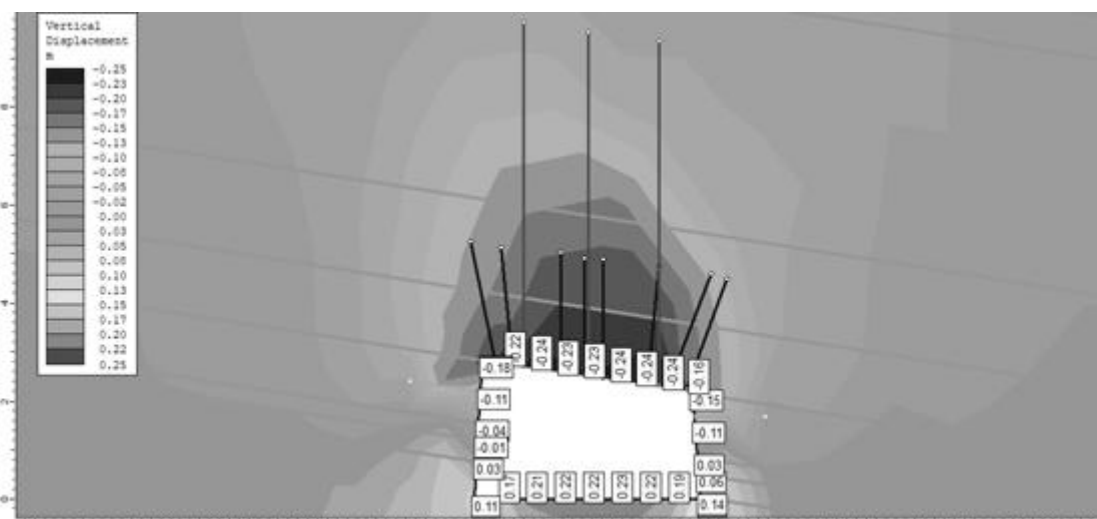


Рисунок 6 – Результати зміщення величин контуру порід виробки у випадку, коли кріплення анкерами виконувалося 8-ма сталеполімерними анкерами у покрівлі виробки,  $L=2400$  мм, діам. 28 мм, 3-ма канатними  $L=7000$  мм у покрівлі виробки, 2-ма з боків виробки  $L=1500$  мм у вугільному пласті та 3 (2+1) у бокові породи

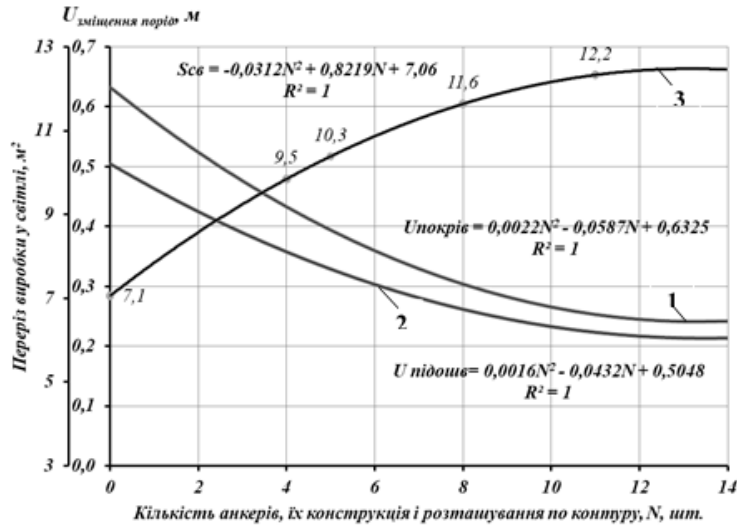


Рисунок 7 – Графіки залежності величини зміщення контуру виробки та перерізу виробки у світлі від кількості анкерів: 1 – зміщення порід покрівлі; 2 – зміщення порід підшови; 3 – змінення перерізу виробки:

0 – немає анкерів; 4 – 4 сталеполімерних анкерів L=2400 мм, діам. 28 мм у покрівлі виробки; 6 – 6 сталеполімерних анкерів L=2400 мм, діам. 28 мм у покрівлі виробки; 8 – 8 сталеполімерних анкерів L=2400 мм, діам. 28 мм у покрівлі виробки; 13 – 8 сталеполімерних анкерів L=2400 мм, діам. 28 мм у покрівлі виробки, 3 канатних L=7000 мм у покрівлі виробки, 2 полімерних анкери L=1500 мм з боків виробки у вугільному пласті та 3 (2+1) у бокові породи

З них витікає, що величини, які контролюються, тобто максимальні величини зміщень контуру і остаточного перерізу нелінійно змінюються в залежності від кількості анкерів і можуть бути апроксимовані наступними поліноміальними рівняннями:

$$U_{\text{покрів}} = 0,0022N^2 - 0,0587N + 0,6325, \quad (1)$$

$$U_{\text{підшов}} = 0,0016N^2 - 0,0432N + 0,5048, \quad (2)$$

$$S_{\text{cb}} = -0,0312N^2 + 0,8219N + 7,06. \quad (3)$$

Це дозволяє прогнозувати стан виробки на стадії її проектування. Формування геомеханічної ситуації

1 починається з початком впливу на штрек виробленого простору лави. На момент завершення ситуації залишок перерізу у світлі конвеєрної виробки дорівнює за розрахунками 12,2 м<sup>2</sup> (рис. 8). Розрахункова схема лишається такою, що наведено на рис. 6, а вплив лави ураховується введенням додаткового коефіцієнту у зовнішнє навантаження, який дорівнює 1,3 [10–12]. Величини переміщень порід покрівлі, боків і підшови за розрахунками не перевищують 0,25 м.

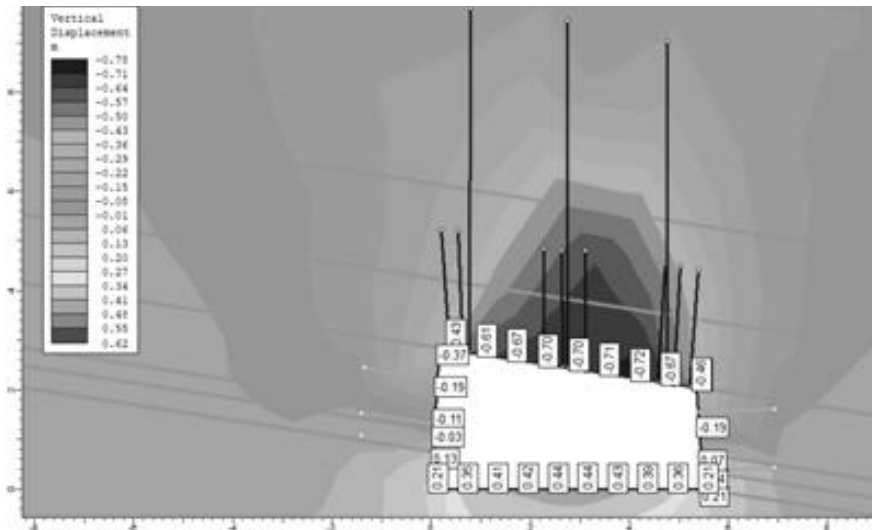


Рисунок 8 – Геомеханічна ситуація 1

Наступним кроком досліджень є моделювання геомеханічної ситуації 2 (рис. 9). Для того, щоб витримати підвищені навантаження у лаві, з боку лави додатково облаштовується органічний ряд, викладаються кліті. За розрахунками остаточний пере-

різ виробки у світлі до підхода вікна лави становить 10,2 м<sup>2</sup> (рис. 9). При цьому переміщення порід покрівлі складають 0,3 м, а порід підшови – 0,49 м, що потребує виконання робіт з підривки. Зняття порід виконується на величину, приблизно 0,5 м.

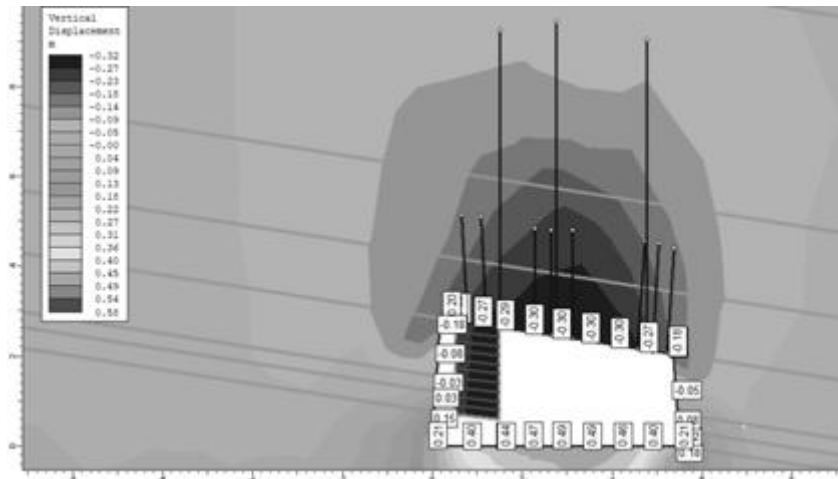


Рисунок 9 – Геомеханічна ситуація 2

Більш складною з точки зору деформування контуру виробки є ситуація 3. Для підтримання виробки у ній з боку лави і в перерізі виробки облаштовуються додаткові стойки. Це за розрахунками дозволить зменшити переміщення порід покрівлі і підшо-

ви, отримати остаточний переріз на рівні 4,6 м<sup>2</sup> (рис. 10). Величини переміщень після попередньої підривки становлять: для порід покрівлі – 0,33 м, для порід підшоши – 0,25 м, площа остаточного перерізу – 6,5 м<sup>2</sup>.

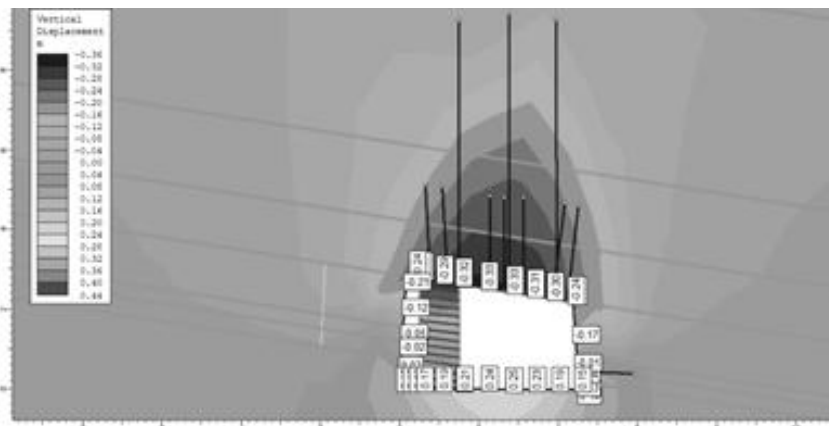


Рисунок 10 – Геомеханічна ситуація 3

Найбільші деформації виробка отримає після проходу лави, коли остаточний переріз буде дорівнювати 6,5 м<sup>2</sup> (ситуація 4). Переміщення порід покрівлі становлять 0,36 м, підшоши – 0,55 м. Це потребує виконання ремонтних робіт з підривки порід

підшоши і розширення виробки до перерізу 10,4 м<sup>2</sup> (рис. 11).

У такому стані виробка стає придатною до її повторного використання.

Узагальнюючий результат обчислень наведено на рис. 12.

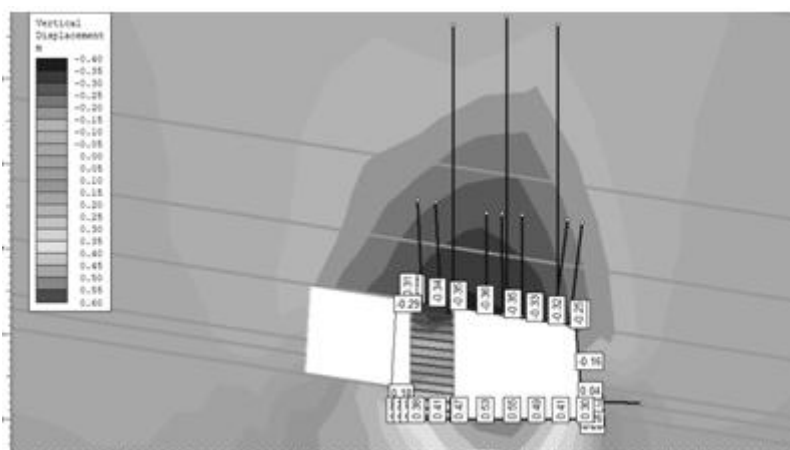


Рисунок 11 – Геомеханічна ситуація 4

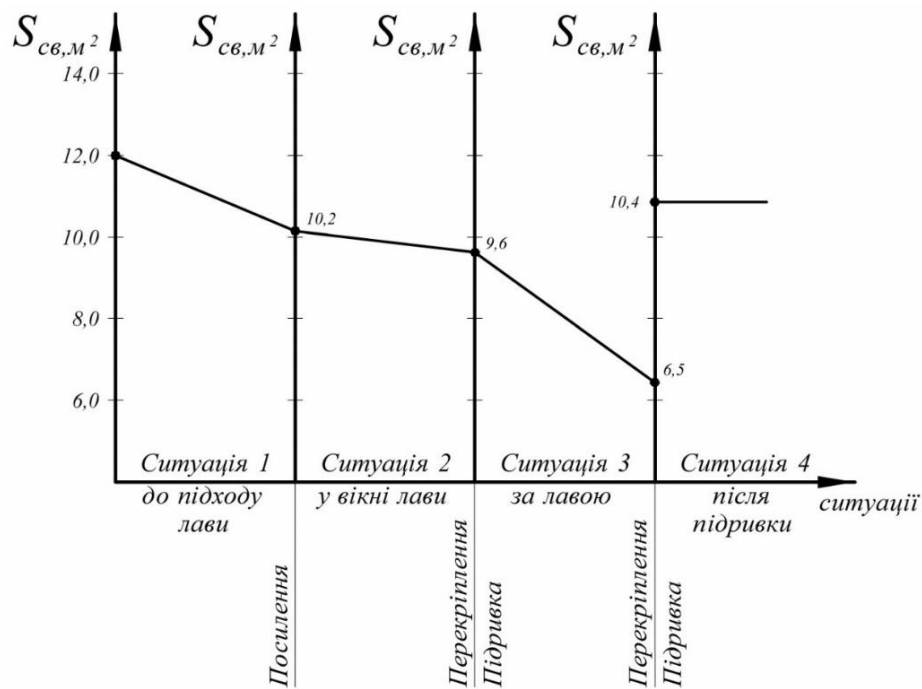


Рисунок 12 – Зміна величини перерізу виробки у світлі залежно від геомеханічних ситуацій проведення виробки

З нього наочно витікає етапність виконання робіт із забезпеченням стійкості конвеєрних виробок, що використовуються повторно, а також можливість фінансового аналізу.

**ВИСНОВКИ.** 1. Конвеєрна виробка за весь час свого існування проходить п'ять стадій, що відрізняються ступенем навантаження на кріплення і, відповідно, деформаціями контуру. Це наступні геомеханічні ситуації:

- до підходу лави;
- у процесі підходу вибою лави;
- у вікні лави;
- після проходження лави;
- стадія підривки і розширення виробки.

2. Геомеханічні ситуації за номером два передре перша ситуація, коли виробка знаходиться поза зоною впливу вибою лави. Ця ситуація слугує відправною для всіх наступних технічних рішень, які направлені на можливість повторного використання підготовчих виробок вугільних шахт.

3. Початкова стійкість конвеєрної виробки оцінюється величиною залишкового перерізу, який знаходиться у поліноміальній залежності від кількості і конструкції анкерів, розташованих в покрівлі і боках виробки, що дозволяє визначити такі їх параметри, при яких за умови поетапної установки підсилюючих елементів (органний ряд, костри, ремонтини) з боку лави стає можливим повторне використання конвеєрних штреків.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Пивняк Г. Г., Шашенко А. Н., Пілов П. И., Пашкевич М. С. Post mining: технологический аспект решения проблемы. *Горный информационно-аналитический бюллетень* (научно-технический журнал), 2012. Вып. 1. С. 20–31.

2. Pivnyak G. G., Shashenko O. M. Trends of World Coal Mining Development and Thermal Power Generation / *Materials of the International Scientific and Practical Conference «Physical and Chemical Geotechnologies – 2018»*. Дніпро: НТУ «ДП», 2018. С. 7–10.

3. Пивняк Г. Г., Пілов П. И., Пашкевич М. С., Шашенко, Д. О. Synchro-mining: цивілізоване вирішення проблеми сталого функціонування гірничодобувних регіонів. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, 2012. Вып. 3. С. 131–138.

4. Солодянкин А. В., Машурка С. В., Дудка И. В. К вопросу об эффективности повторного использования выработок в сложных геомеханических условиях. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2015. № 2 (16). С. 99–109.

5. Сдвижкова Е. А., Солодянкин А. В., Попович И. Н., Дудка И. В. Исследование эффективности элементов крепления и охраны выемочных выработок в условиях шахты «Партизанская» ГП «Антрацит»: *Матеріали міжнародної наук.-техніч. конф. Форум гірників-2014*, м. Дніпро, 1-4 жовтня 2014 р. Т. 2. Геомеханіка і геотехніка. Дніпропетровськ: РВК НГУ. 2014. С. 97–103.

6. Шашенко А. Н., Пустовойтенко В. П., Сдвижкова Е. А. Геомеханика / за ред. Шашенко О. М. К.: Новий друк, 2016. 258 с.

7. E. Hoek, E.T. Brown (2019), “The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition”. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 11. pp. 445-463 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775518303846>

8. Логунова А. О. Управление геомеханическими процессами в окрестности подземных выработок с помощью анкерных систем. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2014. Вип. 1 (13). С. 89–96.

9. Гапеев С. Н., Григорьев А. Е., Логунова А. О. Критериальная величина остаточного сечения конвейерного штрека, используемого повторно. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остро-

градського. Кременчук: КрНУ, 2015. Вип. 2 (16). С. 90–99.

10. Геомеханика струговой лавы / Г. Г. Пивняк и др: монография. Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс», 2013. 320 с.

11. Шашенко. А. Н, Солодянкин А. В., Смирнов А. В. Пучение пород почвы в выработках угольных шахт: монография. Днепропетровск: ЛизуновПресс, 2015. 256 с.

12. Шашенко А. Н., Солодянкин А. В., Мартовичкий А. В. Управление устойчивостью протяженных выработок глубоких шахт: монография. Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс», 2012. 384 с.

## NUMERICAL SIMULATION OF STABILITY FOR DEVELOPMENT EXCAVATION BEING REUSED

O. Shashenko, N. Khoziaikina, O. Dubovyk

Dnipro University of Technology

prosp. Dmitry Yavornytskyi, 19, Dnipro, 49000, Ukraine. E-mail: shashenko.o.m@nmu.one

**Purpose.** The current situation with regard to coal production in the world is called “decarbonization”. Its purpose is a total transition to renewable energy sources, which involves the coal mines closure and the transfer of part of them to another economic plane by implementing technologies that are combined under the common name “synchro-mining”. Such a transition will take time and, due to experts, will hold until 2050. During this period, coal production is possible only if the production cost is reduced, which will make it competitive regarding the gas. One of the ways to reduce the coal producing cost, produced underground, is to reuse the preparatory (conveyor) excavation that dominates the technological structure of the mine. A lot of researches deal with solving the actual problems, which are connected with the mentioned problem. That is caused by the variety of mining and geological conditions of coal seams development. The reuse of transports preparatory excavations in coal mines help to minimize the operating costs for coal production and, accordingly, to reduce its production cost. In this case, the optimization problem appears - reducing the cost of additional excavation constructing requires an increase in the cost of maintaining the excavation operational state, which is reused. It is necessary to find such an engineering solution, in which the sustainability of the reused excavation would be sufficient and the cost of measures in its maintenance - minimal. **Methodology.** It is impossible to solve the problem by the trial-and-error method; the only way is to solve it by numerical methods. The first part of the problem, which is to justify the proper support parameters, in the article is solved by the finite element’s method. All calculations are made on the basis of Phase2 - software product of the Canadian company Rocscience. Geomechanical models are developed and verified on the basis of in-situ researches of the excavation contour deformations at different stages of its existence. **Results.** As a result of the numerical experiment, the parameters of the combined support were determined at all production operation stages: outside the longwall influence zone, in the longwall influence zone, in the window of the longwall, outside the longwall. **Originality.** Dependences of the roof and floor displacements in time, and also reduction of the cross-sectional area of drift were obtained. **Practical value.** It is proved that in stages using anchor bolts of different design and length, as well as reinforcement elements (carriages, repairs, etc.), by performing the brushing, it is possible to obtain a residual cross-section of excavation of  $10,4 \text{ m}^2$ . This size is sufficient to reuse of the fourth conveyor drift  $\text{m}^2$  in the mining and geological conditions of Krasnolimanska Mine Mining Company.

**Key words:** decarbonization, expenses, conveyor drift, reusing, numerical models, support parameters.

## REFERENCES

1. Pivnyak, G. G., Shashenko, A. N., Pilov, P. I., Pashkevich, M. S. (2012), “*Post mining: tekhnologicheskij aspekt resheniya problemy*”. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten` (nauchno-tekhnicheskij zhurnal), (1), pp. 20-31.

2. Pivnyak, G. G., Shashenko, O. M. (2018), “*Trends of World Coal Mining Development and Thermal Power Generation*”. Materials of the International Scientific and Practical Conference “Physical and Chemical Geotechnologies, Dnipro University of Technology, pp. 7–10.

3. Pivniak, H. H., Pilov, P. I., Pashkevych, M. S., Shashenko, D. O. (2012), “*Synchro-mining: tsyvilizovane vyri-shennia problemy staloho funktsionuvannia hirnycho-dobuvnykh rehioniv*”. Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. Vyp. 3. pp. 131-138.

4. Solodyankin, A. V., Mashurka, S. V., Dudka, I. V. (2015), “*K voprosu ob e`ffektivnosti povtornogo ispol`zovaniya vy`rabetok v slozhny`kh geomekhanicheskikh usloviyakh*”. Suchasni resursoenerhozberihaiuchi tekhnolohii hir-nychoho vyrobnytstva. # 2 (16). pp. 99-109.

5. Sdvizhkova, E. A., Solodyankin, A. V., Popovich, I. N., Dudka, I. V. (2014), “*Issledovanie e`ffektivnosti e`lementov krepleniya i okhrany` vy`emochny`kh vy`rabetok v usloviyakh shakhty` “Partizanskaya” GP “Antracztst”*”. Forum hirnykiv-2014: Materialy mizhnarodnoi konferentsii. Heomekhanika i heotekhnika. Dnipropetrovsk: RVK NHU. pp. 97-103.

6. Shashenko, A. N. (2016), “*Heomekhanika*”. A. N. Shashenko, V. P. Pustovoitenko, E. A. Sdvizhkova. K.: Novyi druk. 258 p.



7. E. Hoek, E. T. Brown (2019), “*The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition*”. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 11. pp. 445-463 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775518303846>

8. Logunova, A. O. (2014), “Upravlenie geomekhanicheskimi processami v okrestnosti podzemnykh vy`rabotok s pomoshh`yu ankerny`kh sistem”. *Suchasni resursoenerhozberihaiuchi tekhnologii hir-nychoho vyrobnytstva Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu im. M. Ostrohradskoho. Kremenchuk: KrNU. Vyp. 1 (13). pp. 89-96.*

9. Gapeev, S. N., Grigor`ev, A. E., Logunova, A. O., (2015), “Kriterial`naya velichina ostatochnogo secheniya konvejernogo shtreka, ispol`zuemogo povtorno». *Suchasni resursoenerhozberihaiuchi tekhnologii hirnychoho vyrobnytstva Kremenchutskoho*

*natsionalnoho universytetu im. M. Ostrohradskoho. Kremenchuk: KrNU. Vyp. 2 (16). pp. 90-99.*

10. Pivnyak, G. G. (2013), “*Geomekhanika strugovoy lavy`*”. G. G. Pivnyak, A. N. Shashenko, E. A. Sdvizhkova, A. V. Smirnov, A. V. Martoviczkij, N. S. Eremin. *Monografiya. Dnepropetrovsk: OOO «LizunovPres». 320 p.*

11. Shashenko, A. N. (2015), “*Puchenie porod pochvy` v vy`rabotkakh ugol`ny`kh shakht*”. A. N. Shashenko, A. V. Solodyankin, A. V. Smirnov [monografiya]. *Dnepropetrovsk: LizunovPress. 256 p.*

12. Shashenko, A. N. (2012), “*Upravlenie ustojchivost`yu protyazhenny`kh vy`rabotok glubokikh shakht: Monografiya*”. A. N. Shashenko, A. V. Solodyankin, A. V. Martoviczkij. *Dnepropetrovsk: OOO «LizunovPress». 384 p.*

Стаття надійшла 08.06.2020.