

С.В. Сахно
В.В. Бородіч
Є.К. Карлов**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ
ОЧИСНИХ РОБІТ НА СТІЙКІСТЬ ВИРОБОК ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ
«МАЛИХ ШАХТ»**

Мета. Дослідження впливу параметрів технологічних схем виймання вугілля на напружено-деформований стан порід, що вміщують виробки, при реалізації концепції «малих шахт».

Методика. Під час дослідження використовувались метод скінчених елементів і метод аналізу. Моделювання проводилось методом небезпечних перетинів. По першому варіанту технологічної схеми було вибрано два небезпечних перетини, по другому – чотири. Рішення задачі проводили в об'ємній постановці з дотриманням граничних умов.

Результати. Проведений аналіз напружено-деформованого стану порід, що вміщують гірничі виробки, по порівнюванім варіантам дозволив визначити очікуваний стан порід і встановити параметри зон можливого руйнування. З точки зору стійкості порід на стадії пружно-пластичного деформування порід порівнювані варіанти є майже рівноцінними. А з огляду на менший час підтримання виробок більш доцільним є використання коротких лав. В цьому варіанті в якості основного кріплення у виробках застосовується трапецієподібне кріплення, а у «традиційному» варіанті – металеве аркове кріплення. Показано, що при суттєво менших витратах на підтримання виробок стійкість їх при використанні коротколавних технологічних схем краща.

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що для «малих шахт» з невеликим видобутком технологічні схеми з короткими лавами є більш доцільними, ніж «традиційні» технологічні схеми, розроблені для комплексної механізації.

Наукова новизна. Дослідження напружено-деформованого стану порід навколо гірничих виробок різної форми і розмірів при аналізі технологічних схем виймання вугілля короткими лавами дозволили встановити орієнтацію і параметри ділянок масиву, які переходять в позамежний стан. Для умов українського Донбасу це зроблено вперше.

Практичне значення. Наявність інформації про очікуваний напружено-деформований стан масиву дозволяє своєчасно спланувати способи кріплення і заходи з локального підвищення стійкості порід.

Ключові слова: напруження, деформації, виробка, вугільна шахта, технологічна схема робіт.

Вступ.

Одним з найважливіших за останні роки рішень, яке може докорінно змінити напрямок розвитку енергетичної галузі України, стало скорочення вугільної теплової генерації. Цей напрямок в цілому корелює зі світовими трендами підвищення долі відновлювальних джерел енергії і підтримується країнами ЄС. Мало того, лідери вітчизняного вуглевидобутку компанії «ДТЕК» і «Метінвест» в останні роки підсилюють акценти на зелену енергетику, звертають інвестиційну політику в вугільній галузі і навіть повертають деякі підприємства у державну власність. В 2020 році започатковано розробку «Національної програми трансформації вугільних регіонів України до 2027 року». Під час обговорення цієї програми на засіданні Координаційного центру з питань трансформації вугільних регіонів України [1] були схвалені три пілотні проекти трансформації вугільних

регіонів, два з них в Донецькій області. Взагалі зазначена програма передбачає поступову ліквідацію інвестиційно непривабливих вугільних шахт.

В ДП Мирноградвугілля таких шахт дві: ш. Центральна і ш. 5/6. Сьогодні ці шахти віднесені до неперспективних з видобутку. Проекти реструктуризації передбачають фактичну ліквідацію підприємств. За останні роки варіанти реструктуризації розглядалися різні: консервація, припинення роботи на певний час з можливістю відновлення роботи. Однак впровадження нової стратегії, скоріш за все, призведе до ліквідації подібних підприємств.

Закриття вугільних шахт окрім соціальних проблем, які планують вирішувати в рамках зазначеної нацпрограми трансформації вугільних регіонів, автоматично активують низку проблем екологічної і технологічної спрямованості. При цьому проблема

підтоплення територій і підвищення водопритоку в шахти, що мають гідравлічні зв'язки з шахтою, що ліквідується, не є найбільш гострою [2, 3].

Існує достатньо великий досвід країн Східної і Центральної Європи щодо реструктуризації вугільної галузі. З початку дев'яностих років минулого століття у вугільній промисловості багатьох країн почалися реформи, які через фінансову неспроможність проводити їх самостійно відбувалися за підтримки та ініціативи певних структур на базі двосторонніх угод [4].

Майже в усіх країнах Східної і Центральної Європи процеси реформування вже закінчилися з достатньо позитивними наслідками (наприклад, Польща [5], Румунія [5]). Однак реформування вугільної галузі України триває досі. При цьому законодавча база і стратегія реформування галузі періодично змінюються.

Таким чином, в умовах, що склалися в країні відносно вугільної галузі, очікувати швидку реструктуризацію не має сенсу. З іншого боку, придбання нового обладнання за рахунок державних коштів для підприємства, що визнано неперспективним, також навряд чи вірогідно.

Єдиним виходом, який міг би врятувати подібні підприємства, до моменту впровадження зваженої програми реструктуризації, підкріпленої фінансовими надходженнями, є реалізація концепції «малих шахт». Ці підприємства з невеликим обсягом видобутку, орієнтуються на риночну ситуацію, зміну попиту протягом сезону і року. Основною рисою подібних підприємств є адаптивність до виникаючих умов. Щоб якісно реалізувати на практиці такий підхід необхідно забезпечити технічну можливість роботи підприємства з зупинками, що коригуються в залежності від поточної ситуації. При цьому до гірничих виробок, систем транспорту і підйому ставляться спеціальні вимоги з стійкості роботи.

В певній мірі такий підхід реалізується на багатьох державних шахтах, які непривабливі для інвестування. Ці підприємства за традиційними технологічними схемами, часто з застарілим обладнанням, індивідуальними кріпленнями і навіть з вийманням вугілля відбійними молотками, забезпечують невеликий

видобуток вугілля. Прикладом може бути ш. Центральна ДП Мирноградвугілля. Але не завжди параметри технологічних схем видобутку, передбачені для комплексно механізованих і комбайнових лав з високим видобутком, є оптимальними для лав з невеликим навантаженням. Зменшення темпів посування очисних вибоїв, проведення штреків слідом за лавою, використання колісного транспорту гірничої маси, економія на засобах кріплення і підтримання виробок – все це накладає відбиток на ефективність виробництва. Тому дослідження впливу довжини очисного вибою, форми і розмірів виробок на їх стійкість при реалізації концепції малих шахт є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Оскільки одним з основних критеріїв доцільності зміни параметрів технологічної схеми очисних робіт є скорочення витрат на підтримання виробок, які визначаються стійкістю виробок в довготривалому періоді, перед прийняттям технологічних рішень необхідно розуміти прогностичний стан порід приконтурної зони або зони критичного деформування порід. Це дозволить сформулювати судження відносно стійкості виробок на основі тих чи інших концепцій.

Отримати прогностичні напруження і деформації аналітичним шляхом достатньо складно. Тому, для вирішення поставленої задачі слід обрати метод досліджень. Проаналізуємо найбільш поширені методи аналізу, що використовуються в гірничій практиці.

Аналітичні методи, що передбачають розрахунки напружень і деформацій на основі відомих положень теорії пружності, пластичності, прикладної механіки і опору матеріалів не розглядаємо, тому що задачі, що слід вирішувати, не мають прямих і непрямих аналогів готових рішень в перелічених вище теоріях. Одним з основних методів дослідження схожих задач в геомеханіці, гірництві і відкритій розробці є моделювання. Останніми роками переважна більшість моделей в гірництві є чисельними [6]. Проаналізуємо рішення схожих задач в світовій практиці.

В роботі [7] наведено вивчення характеристик розподілу поля напружень, що виникає навколо гірничої виробки,

методом чисельної імітації за допомогою програми FLAC для аналізу поля напружень, в виробці закріпленій анкерними болтами, було проведено для виробки вугільної шахти Шуанхе. Поперечний переріз прямокутний, ширина - 3,6 м, а висота - 2,6 м. В боках виробки – вугільний пласт, безпосередня покрівля – тонкий сланець, товщина 0,9 м, а основна покрівля – пісковик середньої міцності.

Граничні умови чисельного розрахунку такі:

- обмежене зміщення верхньої, нижньої та поперечної частин моделі;
- розміри моделі довжина $\times$ ширина $\times$ висота: 60 м $\times$ 60 м $\times$ 60 м;
- критерій руйнування Мора-Кулона.

Дослідження вели відповідно до методу ортогонального випробування, під час аналізу враховували горизонтальну рівномірність та рівномірність колокації. Розмір моделі становив 60 м $\times$ 60 м $\times$ 60 м, а розмір виробки – 3,6 м $\times$ 2,6 м. Напруження, що виникали навколо моделі коректувались відповідно до середнього значення вимірюваного напруження in-situ у вугільній шахті Шанхе.

Аналізуючи отримані результати автори [7] прийшли до висновку, що зона ефективного стискаючого напруження формується в навколишньому масиві після того, як анкер встановлюється з попереднім навантаженням. Під всебічною дією аркового попереднього напруження вертикальне напруження в покрівлі виробки утворює перевернуту аркову конструкцію з певною товщиною та міцністю.

Співставляючи результати моделювання з результатами натурних вимірів, автори роблять висновок про допустиму розбіжність в результатах. Тобто метод скінчених елементів дав задовільний результат точності.

Автори роботи [8] наводять результати чисельного моделювання для умов шахти Чжуцзи, Хуайнань, на глибині вибою від -913,1 до -879,7 м, кут падіння пласта від 1 до 5°, із середнім значенням 3°. Потужність вугільного пласта становила 0,1 - 2,1 м, з середнім значенням 1,2 м. Покрівля і підшва – аргіліт потужністю 9,9 м, основна покрівля – пісковик та алевроліт із середньою потужністю 3,2 м. Підшва - глинистий сланець із середньою потужністю 4,5 м.

Чисельна модель була розроблена відповідно до реальних геологічних умов. Розмір моделі (довжина $\times$ висота): 60 м $\times$ 40,2 м, а виробка мала форму підкови розміром 4х4 м, з верхнім радіусом 2 м. Авторами [8] встановлено, що використання анкерних болтів може посилити стійкість навколишніх порід та покращити здатність протистояти вібраціям. Результати моделювання підтверджуються натурними вимірами. Тобто метод скінчених елементів дає задовільний результат точності.

Дослідження методом скінчених елементів також проводились авторами публікації [9] для умов вугільної шахти Баоде компанії Shenhua Shendong Coal Group Co., Ltd., що знаходиться в окрузі Баоде, Провінція Шаньсі, Китай. Основним об'єктом видобутку вугілля в Баоде є вугільний пласт на глибині близько 400 м. Потужність вугільного пласту - 3,7–9,2 м, а кут залягання - 3–7°. В покрівлі гірничої виробки був верхній шар вугілля. З точки зору літології покрівлі верхня частина покрівлі включає вугілля, тонкий алевроліт (потужністю 0,2 м), піщаний сланець і пісковик.

На шахті використовувалась двоштрекова підготовка шахтних полів. При видобутку вугілля вплив тиску на виробки, що знаходяться на відстані 300 м за вибоєм, надзвичайно сильний. Очевидна асиметрична деформація, руйнування ціликів та інші явища, а також багато вивалів з покрівлі.

Зону пластичної деформації покрівлі вентиляційного штреку за допомогою чисельного моделювання та польових вимірювань аналізували автори [9]. Співставлення результатів з натурною проводили за допомогою свердловин пробурених в покрівлю. Результати перевірки підтвердили результати моделювання. Тобто метод скінчених елементів дав задовільний результат точності.

Таким чином, аналіз сучасних досліджень свідчить, що рішення задач схожих до поставленої задовільно ведеться методом кінцевих елементів. Тому обираємо цей метод для проведення власних досліджень.

Мета статті. Постановка задачі дослідження.

Метою статті є дослідження впливу параметрів технологічних схем виймання вугілля на напружено-деформований стан порід, що вміщують виробки при реалізації концепції «малих шахт».

Задачами дослідження є вибір варіантів для порівняльної оцінки, побудова кінцево-елементної моделі, аналіз результатів імітаційного моделювання.

Методи дослідження.

Під час дослідження використовувався метод кінцевих елементів.

Викладення основного матеріалу.

Для проведення порівняння авторами було викреслено два варіанти. Перший: часто вживана для «малих шахт» технологічна схема з відпрацюванням пласта довгими стовпами по простяганню прямим ходом з охороною виробок двосторонніми бутовими смугами. Другий: відпрацювання вугілля стовпами шириною 200-250 м, обмеженими по простяганню виробками, пройденими по падінню пласта, виїмка вузькими (20-40 м по падінню) смугами, з відпрацюванням по простяганню (рис. 1).

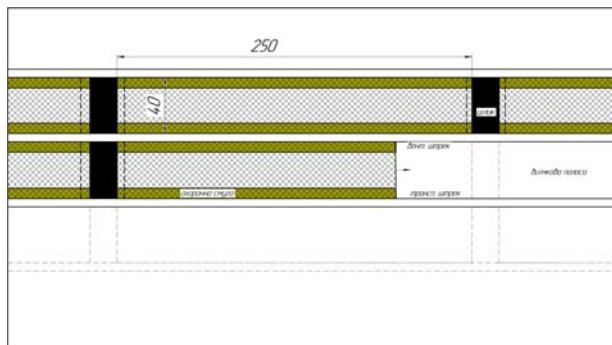


Рис. 1. Запропонована система розробки короткими лавами

Управління покрівлею частковою закладкою виробленого простору в комбінації з стрічковими охоронними спорудами, залишеними уздовж просіків.

Пропонована технологія ведення робіт на шахтах Українського Донбасу в даний час не застосовується, але вона застосовувалась в минулому і використовується зараз в країнах колишнього СРСР.

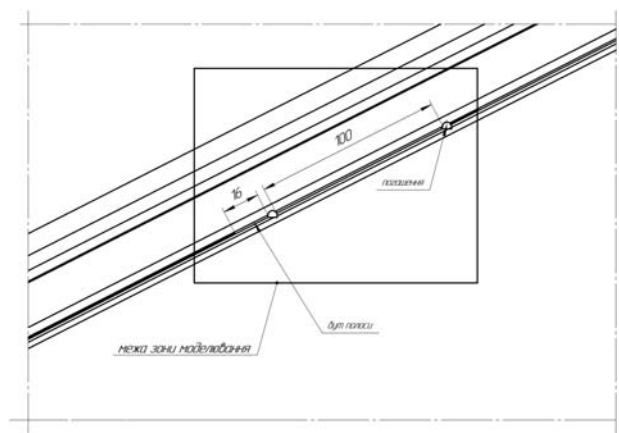
У порівнюваних варіантах дільничні виробки підтримуються в різних умовах. Тому порівняння будемо проводити методом аналізу небезпечних перетинів.

За варіантом 1 необхідно виділити два перетини:

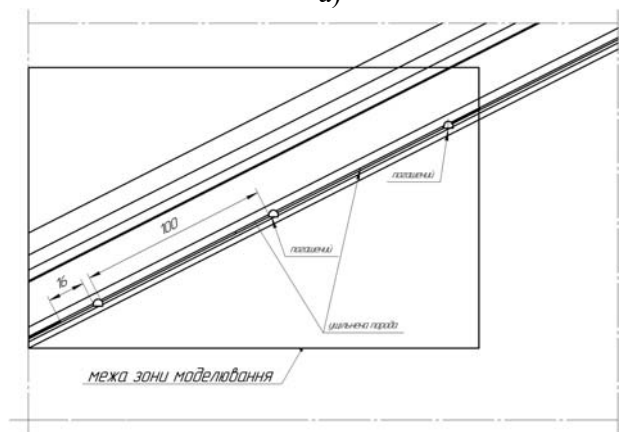
1. Відпрацювання першої лави (рис. 2а).
2. Відпрацювання другої лави (рис. 2б).

За варіантом 2 – чотири перетини:

1. Проведення вентиляційного штреку з верхньою раскоскою (рис. 3а).
2. Проведення відкатувального штреку з нижньою раскоскою (рис. 3б).
3. Відпрацювання першої лави (рис. 3в).
4. Відпрацювання другої лави (рис. 3г).



а)



б)

Рис. 2. Небезпечні перетини по варіанту 1 при відпрацюванні першої лави (а) і другої лави (б)

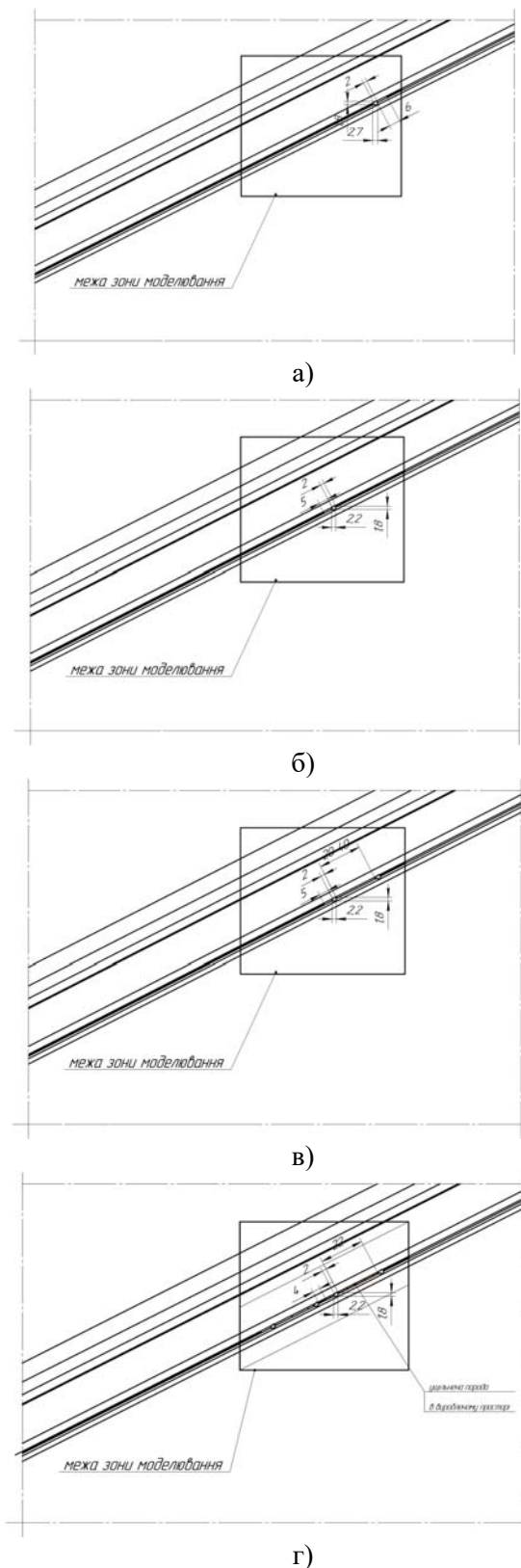


Рис. 3. Небезпечні перетини по варіанту 2 при проведенні вентиляційного штреку з верхньою раскоскою (а), проведенні відкатувального штреку з нижньою раскоскою (б), відпрацюванні першої лави (в) і другої лави (г)

Оцінка стійкості виробок і визначення найбільш небезпечних перетинів при відпрацюванні визначалася шляхом аналізу напружено-деформованого стану (НДС) вміщуючого масиву. Розрахунок напружено-деформованого стану масиву проводили методом чисельного моделювання із застосуванням методу скінченних елементів (МСЕ), реалізованого в програмному комплексі Ansys Inc.

Моделювання проводиться в об'ємній постановці. Модель розбивалася на тривимірні кінцеві елементи у вигляді кубів, паралелепіпедів і призм.

Завдання вирішувалося в пружній лінійній постановці з використанням критерію Кулона-Мора, породи прийняті суцільними без дефектів і площин ослаблення. Така постановка, згідно теорії, враховує масштабні ефекти різних рівнів. При моделюванні в якості критерію міцності прийнята перша теорія міцності. Відповідно до цієї теорії міцності руйнування відбуватиметься в разі перевищення виникаючими стискаючими напруженнями межі міцності порід на одновісний стиск або розтягуючими – на одновісне розтягування. Теорія найбільших нормальних напружень – заснована на гіпотезі про те, що небезпечний стан матеріалу настає тоді, коли найбільше за абсолютною величиною нормальне напруження досягає значення, відповідного небезпечного стану при простому розтягуванні або стисненні. Наведені напруження при об'ємному напруженому стані:

$$[\sigma_{\text{пр}}] \leq \sigma_1 \text{ або } [\sigma_{\text{пр}}] \leq |\sigma_3|$$

На наведених нижче рисунках напруження зі знаком плюс – розтягуючі, зі знаком мінус – стискаючі.

Загальний вигляд об'ємної моделі в плані для варіанту 1 наведено на рис. 4. Відповідні результати моделювання представлені на рис. 5.

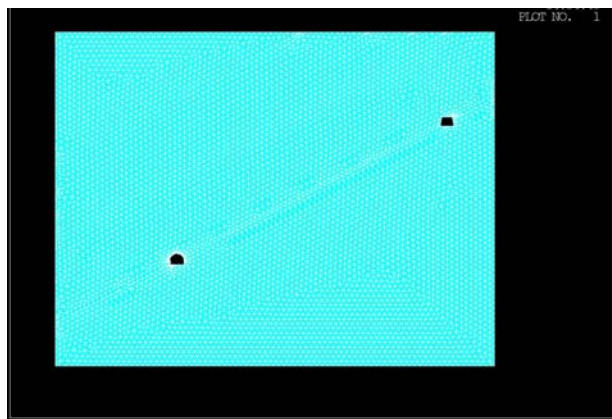
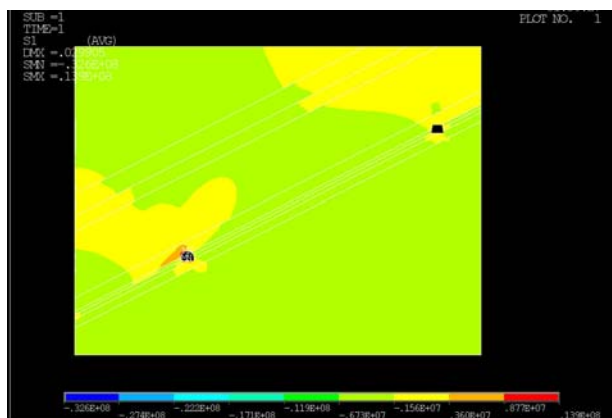
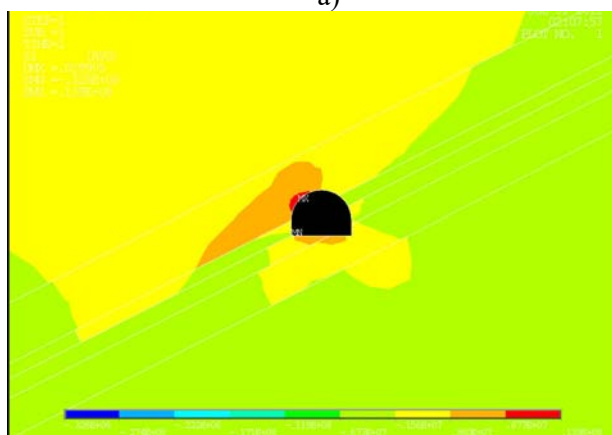


Рис. 4. Загальний вигляд об'ємної моделі



а)



б)

Рис. 5. Ізолінії розподілу напружень по першій теорії міцності в поперечному перерізі моделі (а) і навколо відкотного штреку (б)

Аналізуючи рис. 5 можна зробити наступні висновки:

- в моделі:
 - максимальні стискаючі напруження 32,6МПа;
 - максимальні напруження розтягування 13,9МПа.
- навколо виробок:
 - вентиляційний штрек не відчуває дії руйнівних напружень, зберігає стійкість при дотриманні технології кріплення;
 - відкаточний штрек. На контурі в покрівлі виробки розтягуючі напруження досягають 8,7-13,9 МПа і перевищують в 2-3 рази межу міцності порід покрівлі на розтягнення, очікується вивал з лівої верхньої частини, розвиток вивалу до 2 м в покрівлю, 7 м в бік так як розтягуючі напруження перевищують межу міцності порід покрівлі на розтягнення.

У підшві пласта очікується розшарування порід на глибину до 0,5 м, так як напруження в підшві перевищують межу міцності порід підшви на розтягнення. Можлива величина підняття підшви, при коефіцієнті розпушення порід 2,0, складе 0,4-0,5 м. За умови рівномірного розшарування вказаної потужності порід безпосередньої підшви.

Аналогічні побудови були проведені при відпрацювання другої лави по варіанту 1. Результат моделювання представлений на рис. 6.

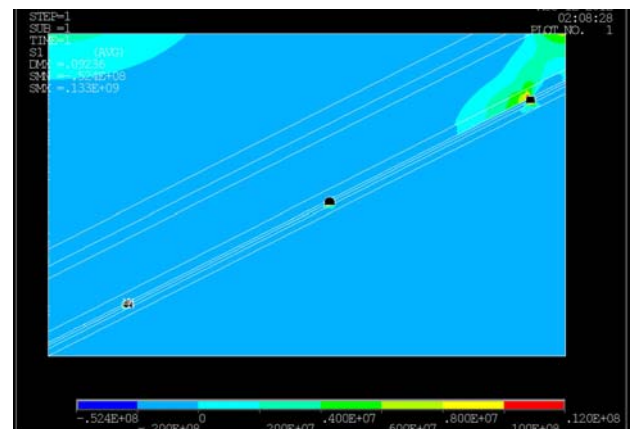


Рис. 6. Ізолінії розподілу напружень по першій теорії міцності в поперечному перерізі моделі

Аналізуючи рис. 6 можна зробити висновки:

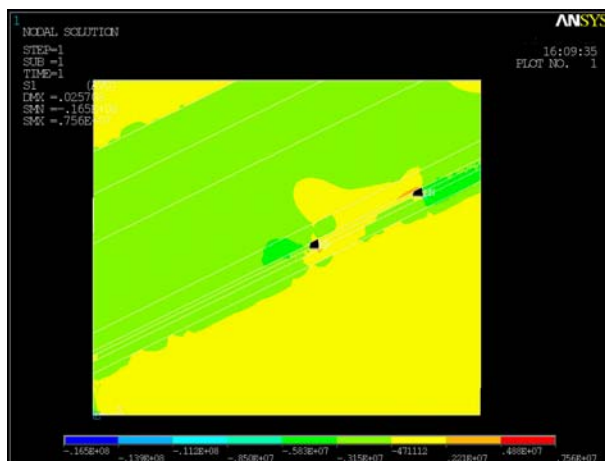
- в моделі:
 - максимальні стискаючі напруження 17,9МПа;
 - максимальні напруження розтягування 38МПа;
- навколо виробок:
 - вентиляційний штрек першої лави знаходиться в зоні високих розтягуючих напружень, можливі вивали з покрівлі до 15

м, оскільки на період відпрацювання другої лави штрек уже погашений, його стан не грає ролі для безпеки робіт;

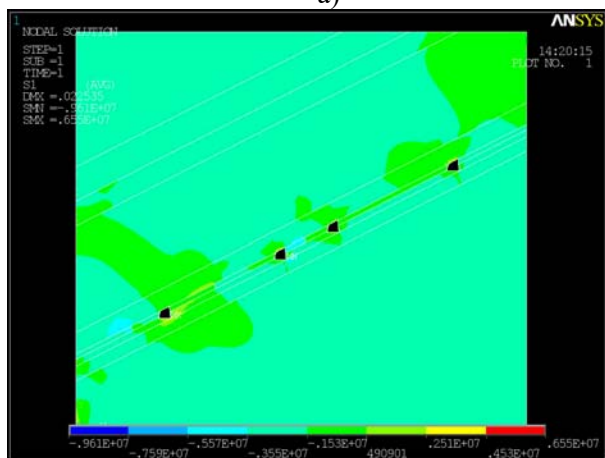
- вентиляційний штрек другої лави з боку покрівлі не відчуває дії руйнівних напружень і зберігає стійкість при дотриманні технології кріплення. Загальний стан виробки задовільний;

- відкаточний штрек. На контурі в покрівлі виробки розтягуючі напруження не досягають критичної величини. В нижньому лівому боці очікується руйнування порід і видавлювання ніжки аркового кріплення. З боку підосви очікується підняття на величину 0,25-0,35 м (за умови коефіцієнта розпушення порід підосви 2.0). Загальний стан виробки задовільний при дотриманні технології кріплення.

Аналогічним чином було проведено моделювання для варіанту 2. В якості прикладу наведемо його результати для відпрацювання першої і другої лави (рис. 7).



а)



б)

Рис. 6. Ізолнії розподілу напружень по першій теорії міцності при відпрацюванні першої (а) і другої (б) лави по варіанту 2

Аналізуючи рис. 6а можна зробити висновки:

в моделі:

- максимальні стискаючі напруження 16,5МПа;

- максимальні напруження розтягування 7,56МПа;

навколо виробок:

- вентиляційний штрек. У покрівлі виникають розтягуючі напруження до 4,8МПа, які перевищують в рази межу міцності порід покрівлі на розтягнення, очікується вивал з лівої верхньої частини, розвиток вивалу до 2 м в покрівлю і до 8 м в сторону падіння. Для збереження стійкості штреку необхідне зведення жорсткої охоронної конструкції по падінню від вентиляційного штреку (наприклад, бутокостра з органічним кріпленням), щоб змістити зону небезпечних напружень у бік виробленого простору, або зведення бутової смуги розміром до 8 м, що дозволить виключити прогин порід і стримати розвиток розшарувань;

- відкатувальний штрек знаходиться в зоні розвантаження. Максимум підвищених напружень зміщений в сторону нижньої раскоски. На контурі в покрівлі виробки розтягуючі напруження не перевищують межу міцності порід покрівлі на розтягнення. У підосві пласта в правому кутку виникають граничні напруження розтягування, можливе руйнування і одностороннє видавлювання порід з боку підосви. Розшарування порід і видавлювання на глибину до 0,25 м, подальше підняття можливо при розмоканні і набуханні глиновміщуючих порід.

При відпрацюванні другої лави (рис. 6б):

в моделі:

- максимальні стискаючі напруження 9,61МПа;

- максимальні напруження розтягування 6,5МПа;

навколо виробок:

- вентиляційний штрек. У покрівлі розтягуючі напруження досягають 4МПа є граничними на розтягнення при розмоканні, очікується вивал з правої верхньої частини, розвиток вивалу до 0,5 м в покрівлю при відпрацюванні необхідна установка підсилюючого кріплення;

- відкаточний штрек знаходиться в зоні розвантаження. На контурі в покрівлі

виробки розтягуючі напруження не перевищують межі міцності порід покрівлі на розтягнення. У підосві пласта в правому кутку виникають граничні напруження розтягування, можливе руйнування і одностороннє видавлювання порід з боку підосви. Розшарування порід і видавлювання на глибину до 0,5 м, подальше підняття можливо при розмоканні і набуханні глиновмісних порід.

Проведений аналіз напружено-деформованого стану порід, що зміщують гірничі виробки по порівнюваним варіантам дозволив зробити наступні висновки.

Висновки.

При відпрацюванні першої лави стан відкатувального штреку за варіантом 1 незадовільний. Очікується вивал з лівої верхньої частини, розвиток вивалу до 2 м в покрівлю, 7 м в бік. Прогнозна величина підняття підосви складає 0,4-0,5 м.

За варіантом 2 (запропонований варіант) відкатувальний штрек знаходиться в зоні розвантаження (понижених напружень). Максимум підвищених напружень зміщений в сторону нижньої раскоски. На контурі виробки в покрівлі діють розтягуючі напруження, які не перевищують межі міцності порід покрівлі на розтягнення. У підосві пласта в правому кутку виникають граничні напруження розтягування, можливе руйнування і одностороннє видавлювання порід з боку підосви. Розшарування порід і видавлювання на глибину до 0,25 м, подальше підняття можливе при розмоканні і набуханні глиновмісних порід. Тобто відкатувальний штрек більш стійкий при другому варіанті.

У той же час стан вентиляційного штреку за варіантом 2 гірше, ніж за варіантом 1. У покрівлі очікується вивал з лівої верхньої частини, розвиток вивалу до 2 м в покрівлю і до 8 м в сторону падіння. Для збереження стійкості штреку необхідне зведення жорсткої охоронної конструкції або зведення бутової смуги.

При відпрацюванні другої лави стан вентиляційного штреку за варіантом 1 задовільний, при дотриманні технології кріплення. У відкатувальному штреці з боку нижнього лівого кутка очікується руйнування порід і видавлювання ніжки аркового кріплення, з боку підосви

прогнозується підняття на величину 0,25-0,35 м. Загальний стан виробки очікується задовільний при дотриманні технології кріплення.

За варіантом 2 відкатувальний штрек знаходиться в зоні розвантаження, стан виробки задовільний. У покрівлі вентиляційного штреку очікується вивал з правої верхньої частини, розвиток вивалу до 0,5 м в покрівлю. При відпрацюванні необхідна установка підсилюючого кріплення. При проведенні вентиляційного і відкатувального штреків за варіантом 2 небезпечних напружень на контурі виробок не виникає, можливо незначне підняття порід підосви.

Також перевагами пропонованої технології є менший час підтримання штреків, обумовлений меншою довжиною виїмкових стовпів, що також визначає більш високу стійкість виробки при переході порід в післяпружну стадію деформування.

Таким чином, можна зробити висновок, що з точки зору стійкості порід на стадії пружно-пластичного деформування порід порівнювані варіанти є рівноцінними. А з огляду на менший час підтримання виробок більш доцільним є варіант 2 (запропонований).

У варіанті 2 в якості основного кріплення у виробках застосовується трапецієподібне кріплення, а у варіанті 1 – металеве аркове кріплення. У якості кріплення підсилення у варіанті 2 пропонується використання анкерів, а в якості способу охорони виробок бутостри.

Таким чином при суттєво менших витратах на підтримання виробок стійкість їх по варіанту 2 краща.

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що для «малих шахт» з невеликим видобутком технологічні схеми з короткими лавами є більш доцільними, ніж «традиційні» технологічні схеми, розроблені для комплексної механізації.

Список літератури

1. Про розробку національної програми трансформації вугільних регіонів України до 2027 року. URL: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2020/10/coalindustry_transformation_blueprint.pdf (дата звернення 10.12.2020).

2. Панишко А.И. Проблемы ликвидации предприятий угольной промышленности и пути их решения. *Уголь Украины*, 2009. № 12. С. 3–5.

3. Гавриленко Ю.Н., Ермаков В.Н., Кренида Ю.Ф. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины. Донецк, 2004. 631с.

4. Кочешкова І.М. Аналіз негативних наслідків закриття шахт і пропозиції щодо порядку виведення їх з експлуатації. *Уголь України*, 2014. № 9. С. 17–20.

5. Досвід деяких європейських країн щодо заходів пом'якшення соціальних наслідків процесу трансформації вугільного сектору. Програма підтримки вугільного сектору. Компонент С: Соціальна політика. К.: Консорціум Human Dynamics, 2009. 42 с.

6. Сахно І.Г. Численное моделирование геомеханических процессов с учетом их нелинейности. *Проблеми гірського тиску*, 2012. №20-21. С. 57-67.

7. Zh. Qin, B. Cao, Yongle Liu, and T. Li (2020) Study on In Situ Stress Measurement and Surrounding Rock Control Technology in Deep Mine. *Hindawi Geofluids*. Vol. 2020 Article ID 8839333, 12 pages (<https://doi.org/10.1155/2020/8839333>).

8. J. Xue, K. Zhan, X. Du, and Q. Ma (2020) Numerical Simulation of the Effect of Dynamic Stress on the Rock Surrounding a Mine Roadway. *Advances in Civil Engineering*. Vol. 2020. Article ID 1656830, 10 pages (<https://doi.org/10.1155/2020/1656830>).

9. H. Jia, K. Pan, Sh. Liu, B. Peng and K. Fan (2019) Evaluation of the Mechanical Instability of Mining Roadway Overburden: Research and Applications. *Energies*, 12. 4265. (doi:10.3390/en12224265).

References

1. Pro rozrobku natsionalnoi prohramy transformatsii vuhilnykh rehioniv Ukrainy do 2027 roku. URL: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2020/10/coalindustry_transformation_blu_e.pdf (data zvernennia 10.12.2020).

2. Panishko A.I. Problemy likvidatsii predpriyatiy ugol'noy promyshlennosti i puti ikh resheniya. *Ugol' Ukrainy*, 2009. № 12. С. 3–5.

3. Gavrilenko YU.N., Yermakov V.N., Krenida YU.F. Tekhnogennyye posledstviya zakrytiya ugol'nykh shakht Ukrainy. Donetsk, 2004. 631с.

4. Kocheshkova I.M. Analiz nehatyvnykh naslidkiv zakryttia shakht i propozytsii shchodo poriadku vyvedennia yikh z ekspluatatsii. *Uhol Ukrainy*, 2014. № 9. С. 17–20.

5. Dosvid deiakykh yevropeyskykh krain shchodo zakhodiv pomiakshennia sotsialnykh naslidkiv protsesu transformatsii vuhilnoho sektoru. Prohrama pidtrymky vuhilnoho sektoru. Komponent S: Sotsialna polityka. K.: Konsortsium Human Dynamics, 2009. 42 s.

6. Sakhno I.G. Chislennoye modelirovaniye geomekhanicheskikh protsessov s uchetom ikh nelineynosti. *Problemi girs'kogo tisku*, 2012. №20-21. С. 57-67.

7. Zh. Qin, B. Cao, Yongle Liu, and T. Li (2020) Study on In Situ Stress Measurement and Surrounding Rock Control Technology in Deep Mine. *Hindawi Geofluids*. Vol. 2020 Article ID 8839333, 12 pages (<https://doi.org/10.1155/2020/8839333>).

8. J. Xue, K. Zhan, X. Du, and Q. Ma (2020) Numerical Simulation of the Effect of Dynamic Stress on the Rock Surrounding a Mine Roadway. *Advances in Civil Engineering*. Vol. 2020. Article ID 1656830, 10 pages (<https://doi.org/10.1155/2020/1656830>).

9. H. Jia, K. Pan, Sh. Liu, B. Peng and K. Fan (2019) Evaluation of the Mechanical Instability of Mining Roadway Overburden: Research and Applications. *Energies*. 12. 4265. (doi:10.3390/en12224265)

Надійшла до редакції 15.12.2020

Сахно Світлана Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри геології, розвідки та збагачення корисних копалин, ДВНЗ Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, Україна.
E-mail: svitlana.sakhno@donntu.edu.ua.

Бородіч Вікторія Вадимівна – магістр ДВНЗ Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, Україна.

Карлов Євген Костянтинович – магістр ДВНЗ Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, Україна.

STUDY OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS TECHNOLOGICAL SCHEMES OF EXCAVATION ON THE SUSTAINABILITY OF MINE ROADWAYS WHEN IMPLEMENTING THE CONCEPT OF «SMALL MINES»

Purpose. Investigation of the influence of the parameters of technological schemes of coal mining on the stress-strain state of the rocks containing the mine roadways in the implementation of the concept of «small mines».

Methods. The study used the finite element method and the analysis method. Modeling was carried out by the method of dangerous sections. According to the first variant of the technological scheme, two dangerous sections were selected, according to the second – four. The solution of the problem was carried out in a volumetric setting with observance of the boundary conditions.

Results. The analysis of the stress-strain state of the rocks around mine roadways, according to the compared options, made it possible to determine the expected state of the rocks and establish the parameters of the zones of possible destruction. From the point of view of rock stability at the stage of elastoplastic deformation of rocks, the compared options are almost equivalent. Taking into account the shorter time of maintenance of roadways, it is more expedient to use short longwalls. In this version, trapezoidal support is used as the main fastening in the roadways, and in the "traditional" version – metal arch support. It is shown that with significantly lower costs for maintaining mine roadways, their stability when using short-longwall technological schemes is better. The studies carried out make it possible to assert that for "small mines" with small production, technological schemes with short longwalls are more appropriate than the "traditional" technological schemes developed for complex mechanization.

Scientific novelty. *The study of the stress-strain state of rocks around mine roadways of various shapes and sizes during the analysis of technological schemes for coal mining with short longwalls made it possible to establish the orientation and parameters of the massif sections that pass into an out-of-bounds state. This was done for the first time for the conditions of the Ukrainian Donbass.*

Practical significance. *The availability of information about the expected stress-strain state of the rock mass allows timely planning of methods of fastening and measures to increase the local stability of rocks.*

Keywords: *stresses, deformations, development, coal mine, technological schemes of excavation.*

Sakhno Svitlana – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geology of Mineral Exploration and Enrichment, Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine.

E-mail: svitlana.sakhno@donntu.edu.ua.

Borodich Victoria – student-master, Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine.

Karlov Yevhen – student-master, Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine.