

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»
(повне найменування вищого навчального закладу)

«Гірничий факультет»

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Розробка родовищ корисних копалин»

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____/Єфремов І.О./

“ ” _____ 2023_року

Випускна кваліфікаційна робота

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Обґрунтування параметрів підтримання дільничних штреків пл. d₄ бл.10 ПРАТ ш/у Покровське з метою забезпечення їх повторного використання»

Виконав: студент 2 курсу, групи РККзм-21

напряму підготовки (спеціальності) 184 «Гірництво», спеціалізація «Розробка родовищ корисних копалин»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Гонтар А.Є.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник проф. каф. РРКК, д.т.н., Сахно І.Г.

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць ін-
ших авторів без відповідних посилань.
Студент Гонтар А.Є.*

(підпис)

Луцьк – 2023 р

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»

Факультет Гірничий факультет

Кафедра Розробка родовищ корисних копалин

Освітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 184 «Гірництво»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

/Єфремов І.О./

“ ” 2023 року

З А В Д А Н Н Я НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРУ

Гонтар Антон Євгенійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів підтримання дільничних штреків пл. д₄ бл.10 ПРАТ ш/у Покровське з метою забезпечення їх повторного використання

керівник роботи Сахно Іван Георгійович, д.т.н., проф

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом № від “ ” 2023 року

2. Строк подання студентом роботи 15 травня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи матеріали, які зібрані на ПРАТ ш/у Покровське під час проходження переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: відомості про ПРАТ ш/у Покровське, аналіз стану технології очисних робіт і охорони дільничних штреків, аналіз літературних джерел щодо способів охорони виробок для повторного використання, математичне моделювання, обґрунтування параметрів запропонованих рішень

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): викопіювання з плану гірничих виробок, паспорти кріплення і управління покрівлею, графіки організації робіт в лаві, способи охорони підготовчих виробок, результати математичного моделювання

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 26 лютого 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАТ «Ш/У ПОКРОВСЬКЕ»	05.03.2023	
2	АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОХОРОНИ ВИЇМКОВИХ ШТРЕКІВ ПРАТ «Ш/У ПОКРОВСЬКЕ»	15.03.2023	
3	ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	25.03.2023	
4	РОЗРОБКА СПОСОБУ ОХОРОНИ КОНВЕСРНИХ ШТРЕКІВ	01.04.2023	
5	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОГО СПОСОБУ	15.04.2023	
6	ТЕХНОЛОГІЯ І ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБІТ ПО ОХОРОНІ ШТРЕКІВ	20.04.2023	
7	ОХОРОНА ПРАЦІ	01.05.2023	
8	ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ І ПІДГОТОВКА ДО ЗАХИСТУ	05.05.2023	

Студент

_____ Гонтар А.Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Сахно І.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гонтар А.Є. Обґрунтування параметрів підтримання дільничних штреків пл. d₄ бл.10 ПРАТ ш/у Покровське з метою забезпечення їх повторного використання / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 184 «Гірництво». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Магістерська робота присвячена вирішенню актуального завдання удосконалення способу охорони підготовчих виробок в умовах бл. 10 ПРАТ ш/у Покровське з метою забезпечення їх повторного використання.

Аналіз стану виробок ПРАТ ш/у Покровське свідчить про те, що однією з основних проблем є розшарування порід за лавою через запізнений контакт литої полоси з покрівлею через усадку твердіючої суміші при застиганні.

Аналізом літератури встановлено, що невирішеною проблемою сумішей з прискорювачами твердіння залишається неможливість керування часом початку реакції твердіння.

На основі узагальнення суті проблеми були сформульовані основні вимоги до удосконаленого способу. Запропоновано використання литих смуг на основі відходів виробництва. Це дозволяє з одного боку знизити вартість матеріалу литої смуги, а з іншого – збільшити ширину смуги до необхідної величини. Також запропоновано новий спосіб заливки смуги з регульованим розпором твердіючої суміші пневмобалонами.

В магістерській роботі обрано метод комп'ютерного моделювання, щоб дослідити еволюцію поля напруги навколо штреків після проходу лави. В результаті моделювання встановлено, що запропонований спосіб охорони штреків для повторного використання буде ефективний при ширині 2,7 м. Результат техніко-економічного порівняння вказує, що економія на 1 м виробки становить 1761 грн. На підтримання штреку довжиною 2 кілометри економія становить 3,52 млн грн.

Ключові слова: шахта, лава, штрек, лита смуга, кріплення.

ABSTRACT

Gontar Anton. Justification of the parameters of the maintenance of the reserving a gateroad for the use of next panel longwall of the d₄ seam block 10 Pokrovske mine / Graduation qualifying work for obtaining an educational degree «Master» specialty 184 «Mining». - SHEI DonNTU, Lutsk, 2023.

The master's work is devoted to the solution of the urgent task of improving the method of reserving a gateroad for the use of next panel mining entry retaining method requires an installation of filling walls.

The analysis of the state of the workings of the Pokrovskoe mine indicates that one of the main problems is the stratification of the rocks behind the longwall due to the delayed contact of the filling wall with the roof due to the shrinkage of the hardening mixture during solidification.

An analysis of the literature established that the unsolved problem of mixtures with hardening accelerators remains the impossibility of controlling the start time of the hardening reaction.

Based on the generalization of the essence of the problem, the main requirements for the improved method were formulated. The use of filling wall based on production waste is proposed. This allows, on the one hand, to reduce the cost of the material of the filling wall, and on the other hand, to increase the width of the filling wall to the required value. A new method of filling the wall with an adjustable gap of the hardening mixture with pneumatic cylinders is also proposed.

In the master's thesis, the method of computer simulation was chosen to investigate the evolution of the stress field around the cracks after the passage of the longwall. As a result of the modeling, it was established that the proposed method will be effective at a width of 2.7 m. The result of the technical and economic comparison indicates that the savings per 1 m of production is UAH 1,761. Savings amount to 3.52 million hryvnias for maintenance of the 2-kilometer length.

Key words: mine, longwall, mine roadway, filling wall, support.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАТ «Ш/У ПОКРОВСЬКЕ» «МЕТІНВЕСТ ПОКРОВСЬКВУГІЛЛЯ»	9
2. АНАЛІЗ ЕВОЛЮЦІЇ СПОСОБІВ ОХОРОНИ ВИЇМКОВИХ ШТРЕКІВ ПРАТ «Ш/У ПОКРОВСЬКЕ»	11
3. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ, ПРИСВЯЧЕНИХ СПОСОБАМ ОХОРОНИ ВИЇМКОВИХ ШТРЕКІВ	22
4. РОЗРОБКА СПОСОБУ ОХОРОНИ КОНВЕЄРНИХ ШТРЕКІВ БІЛЯШТРЕКОВИМИ СМУГАМИ З МЕТОЮ ЇХ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ	33
5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОГО СПОСОБУ ОХОРОНИ ШТРЕКІВ ЛИТИМИ СМУГАМИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	39
5.1с Вибір програми комп'ютерного моделювання, опис постановки задачі	39
5.2 Опис моделювання і його результати	43
6. ТЕХНОЛОГІЯ І ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБІТ ПО ОХОРОНІ ШТРЕКІВ ДЛЯ ЇХ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ	63
6.1 Технологія ведення робіт по спорудженню литої смуги	63
6.2 Розрахунок економічної ефективності запропонованої технології спорудження охоронної смуги	70
7. ОХОРОНА ПРАЦІ	72
7.1 Заходи безпеки при спорудженні литої смуги	72
7.2 Заходи безпеки при установці анкерного кріплення	73
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78

ВСТУП

Дефіцит енергетичних ресурсів, внаслідок збройної агресії РФ в Україні, зумовив різкий спад темпів росту світової економіки і в черговий раз підкреслив важливість енергетичної незалежності. Європейські країни активно диверсифікують власні джерела енергетики, максимально орієнтуються при цьому на внутрішні резерви. Кожна країна має різні резерви, тому і вектори диверсифікації, з метою зниження залежності від російського газу, різні. Аналіз ресурсної бази України, вказує на те, що одним з найбільш перспективних енергетичних ресурсів країни, що має доведені розвідані запаси на 5 століть, є кам'яне вугілля. Трохи меншими є запаси бурого вугілля, проте сьогодні видобуток цієї корисної копалини не ведеться.

Кам'яне вугілля України зосереджено в двох басейнах – Донецькому (95%) і Львівсько-Волинському (5%). Найбільш потужним підприємством з видобутку вугілля України є ПРАТ ш/у Покровське, що входить до складу «Метінвест Покровськвугілля». З початком військових дій, не дивлячись на те, що розташовано в Донецькій області, ПРАТ ш/у Покровське не тільки не скоротило обсяги виробництва вугілля, а навіть ввело в експлуатацію нову лаву. В умовах заборони на експорт енергетичних ресурсів, підприємство підтримує вітчизняну енергетичну галузь.

Загальна оцінка виробничих циклів ПРАТ ш/у Покровське вказує на те, що це підприємство технологічно не поступається будь якому сучасному світовому вуглевидобувному гіганту. Обладнання, що використовується в основних процесах виробляється світовими лідерами гірничої машинерії, допоміжні процеси також цілком забезпечені сучасними технічними засобами і технологіями.

Доробка запасів ПРАТ ш/у Покровське пов'язано з доробкою блоків 10, 11, 12. Перспектива підприємства достатньо прозора на 35-40 років.

Однак при переході на більш глибокі горизонти, нижче 708 м, підприємство стикнулось з низкою проблем, що були не характерні при відпрацювання запасів першої черги.

В першу чергу до таких проблем належить стійкість гірничих виробок. Серед виробок різного технологічного призначення виробки, що обслуговують лави (підготовчі штреки) викликають найбільше занепокоєння. Для відпрацювання виїмкового поля треба мати в експлуатаційному стані дві виробки – конвеєрну і вентиляційну. Повторне використання штреків дозволяє суттєво скоротити витрати на підготовку виїмкових полів. Такий досвід на менших глибинах ПРАТ ш/у Покровське має. Однак сучасні реалії вимагають нових удосконалених рішень.

В зв'язку з цим основним завданням магістерської роботи є удосконалення способу охорони підготовчих виробок з метою забезпечення їх повторного використання.

Завдання:

1. Провести аналіз паспортів кріплення і управління покрівлею ПРАТ ш/у Покровське з метою визначення технологічних особливостей охорони підготовчих виробок.
2. Виконати огляд літературних джерел щодо сучасних напрямків охорони виробок з метою їх повторного використання.
3. Вибрати метод дослідження і провести пошукові експерименти для обґрунтування способу охорони штреків ПРАТ ш/у Покровське.
4. Описати технологію організації робіт з охорони виробок.

Методи дослідження.

Під час аналізу паспортів кріплення і управління покрівлею і проведення огляду літератури використовувались методи узагальнення, аналізу, систематизації. При критичній оцінці варіантів охорони штреків використовувалися методи сват-аналізу. При проведенні розрахунків і розробці варіантів використовувались метод чисельного моделювання, метод інженерних розрахунків, метод техніко-економічних розрахунків.

Структура та обсяг роботи.

Робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел з 29 найменування; містить 76 сторінок основного тексту, 31 рисунків, 2 таблиць, загальний обсяг роботи складає 81 сторінка.

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАТ «Ш/У ПОКРОВСЬКЕ» «МЕТІНВЕСТ ПОКРОВСЬКВУГІЛЛЯ»

ПРАТ «ш/у Покровське» - одне з наймолодших підприємств країни, будівництво його завершено в 1990 році. Постійні модернізації підприємства сприяли тому, що сьогодні це найсучасніша вугільна шахта України. Потужна модернізація сприяла суттєвому перевищенню проектної потужності шахти, так запланований термін роботи складав 60 років, а фактично запаси, відведені в межах гірничого відведення для відпрацювання (101,8 млн тон) були видобуті за 35 років. В сучасних межах підприємство збільшило запаси, фактично отримавши три нові великі блока.

Шахта видобуває вугілля механізованими лавами з проєктним навантаженням в середньому 1,0 млн тон/рік з лави. Роботи з видобутку ведуться лише на пласті d₄. Одночасно в роботі в середньому 6-8 лав. Категорія шахти – надкатегорійна по метану, небезпечна за раптовими викидами. Нижче глибини 600м, пісковики небезпечні за ГДЯ. Поле складено породами світ C₁⁴ і C₂⁰, покритими утвореннями третинного (неогенного) і четвертинного віків. Четвертинні відкладення поширені суцільним покривом і представлені суглинками і глинами з вапняними стягненнями і сланцями залізнення [1].

Промислова вугленосність на полі шахти пов'язана з відкладеннями свит C₁⁴ та C₁⁵ нижнього карбону. З 27 вугільних пропластків, локалізованих в межах шахтного відведення, лише пласт d₄ має витриману робочу потужність у встановлених межах. На незначних ділянках також робочу потужність має пласт d₆¹. Потужність інших прошарків не перевищує 0,40 м [1].

Пласт d₄ переважно складної будови з геологічною потужністю 0,75-1,90 м. Проста будова пласта спостерігається лише в північно-східній частині поля. Потужність пласта в цій частині 0,75-1,60 м [1]. Вугілля коксівне, марки ГЖ і частково ОС. На всій площі вугілля містить мало сірки, в

середньому 0,8 %. Зольність пласту не постійна і поступово збільшується від центру до периферії поля [1].

Бічними породами є пісковики, алевроліти й аргіліти. Ступінь стійкості пісковиків змінюється від стійких до малостійких, алевролітів- від мало стійких до не стійких, аргіліти – як правило не стійкі. При потужності до 0,5 м алевроліти й аргіліти характеризуються як не стійкі, схильні до утворення «не справжньої» покрівлі. У зонах тектонічних порушень і підвищеної тріщинуватості можливі вивали порід покрівлі висотою до 4-6метри [1].

Пласт d_1^6 розташований на 220-230 м вище за d_4 . Робочої потужності пласт досягає на невеликих відокремлених площах і промислового значення не має [1].

2. АНАЛІЗ ЕВОЛЮЦІЇ СПОСОБІВ ОХОРОНИ ВИЇМКОВИХ ШТРЕКІВ ПРАТ «Ш/У ПОКРОВСЬКЕ»

Як вже було зазначено в першому розділі магістерської роботи, при підробці лав на глибинах вище гор. 707м в ш/у Покровське використовувались різні способи охорони дільничних штреків, в тому числі і такі, що передбачали повторне використання, яке було успішно реалізовано свого часу. Підтвердженням цього є план гірничих виробок, де можна відстежити долю повторного використання в межах шахтного поля.

Перехід до роботи 10,11,12 блоків шахти знов актуалізує питання повторного використання, але вже в нових, більш складних умовах. Досвід, отриманий під час експлуатації різних технічних рішень в умовах ПРАТ ш/у Покровське дозволив не тільки в загальних рисах отримати технологію спорудження охоронних смуг для забезпечення повторного використання, але й розробити власну суміш для формування охоронної смуги.

Однією з важливих складових проблеми зведення литих смуг була швидкість захоплювання твердіючого матеріалу та його міцність після захоплювання. Було перевірено кілька сумішей закордонного виробництва та показано, що їх ефективність незадовільна, оскільки смуги не виконували своїх основних функцій. У зв'язку з цим було розроблено склад, який komponувався із матеріалів місцевого виробництва. До складу входять пісок певного гранулометричного складу, цемент або інші в'язучі і спеціальні добавки, що прискорюють захоплювання суміші та регулюють її межу міцності. В результаті розроблена суміш, яка мала межу міцності на одновісне стиск до 50 МПа та набирала її протягом кількох десятків годин.

На матеріал для литої смуги «Бі-кріплення» представники ПРАТ ш/у Покровське (колишня ш. Красноармійська-Західна) отримали патент України на винахід.

В результаті системного аналізу сучасних технологій та виконаних експериментів розроблена проста та ефективна технологія. Ланцюжок технологічних процесів виглядає так. Суміш пакується в мішки масою по 25 кг і доставляється на ділянку монорейковою дорогою в піддонах, потім складається біля стінки виїмкової виробки. При виробництві смуги суміш перемішується з водою в бетонному змішувачі-дозаторі, який використовуючи пневматичну енергію повітря, перекачує суміш по гофрованій трубі в опалубку. Характеристики суміші дозволяють подавати її на відстань до 100-150 м, що спрощує технологію зведення литих смуг і знімає накладку технологічних операцій на поєднанні лави з виїмковою виробкою [2]. Встановлюється також традиційне посилювальне стійкове кріплення в зоні активних зрушень, що дозволяє зменшити інтенсивність зрушень на контурі виробки на найвідповідальнішій ділянці виробки.

Оцінка результатів впровадження литих смуг показала, що їх використання дає пряму економію у вигляді зменшення витрат на проходження виїмкових виробок та можливість забезпечення прямої схеми провітрювання та дегазації підробленої товщі позаду лави, знижує обмеження на очисні забори за газовим фактором [2]. В різний час були реалізовані спроби підтримання виробок для повторного використання литими смугами з гідравлічною заливкою, пневматичною подачею, комбінованими конструкціями на основі литої смуги. Окремі приклади таких рішень описані нижче.

8 блок. Ділянка сполучення конвеєрного штреку з очисним вибоєм зображена на рис. 2.1.

Для заливки твердуючої суміші попередньо готувались відсіки (опалубка) шляхом пробивки стійок органного кріплення впритул одна до одної з ізоляцією кожного відсіка. Після чого в підготовлені відсіки заливали рідку твердіючу суміш «Бі-кріплення». Після твердіння суміші між покрівлею і підшвою вугільного пласта утворювалися штучні полоси з бетону (литі смуги).

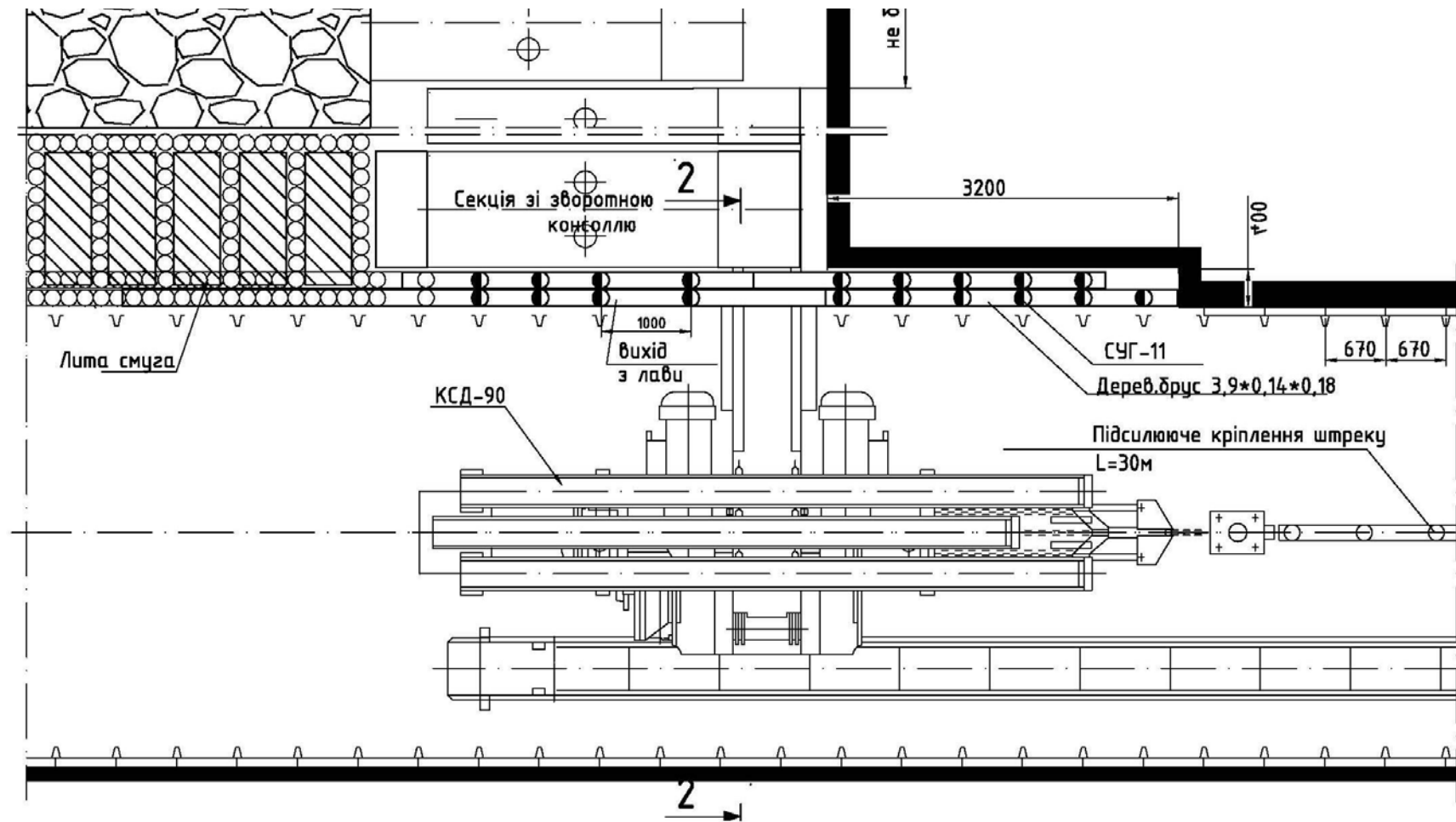


Рисунок 2.1 – Фрагмент паспорту кріплення і управління покрівлею (нижнє сполучення очисного вибою з конвеєрним штреком)

Такий дизайн способу охорону штреків цілком співпадає з класичною навколоштрековою полосою, розробленою німецькими вченими і тими, що знайшли використання в німецьких шахтах.

Під час пошуку оптимальної технології ПРАТ ш/у Покровське при відробці вугілля у 5,8,6 блоках використовували такі способи:

- пневмомеханічний – набризг- і торкрет бетонування машинами – М Б Р, Б М - 68 П Б М - 2Е (рис. 2.2);
- гідромеханічний однофазними насосами М О Н О W Т - 820, П Н - 600, П Н - 800 (рис. 2.3).

Ширина литої смуги при категорії порід А1 приймалась $=0,8\text{m}$ (м-середня потужність пласта); при $A2=1,0\text{m}$; при $A3=1,2\text{m}$. Допустиме паспортом відставання смуги від мехкріплення лави не більше $6,0\text{m}$.

Модернізація технології спорудження смуги в цей період була спрямована на зменшення витоків суміші з опалубочних відсіків, що було досягнуто за рахунок використання гнучких опалубочних ємностей (рис. 2.3).

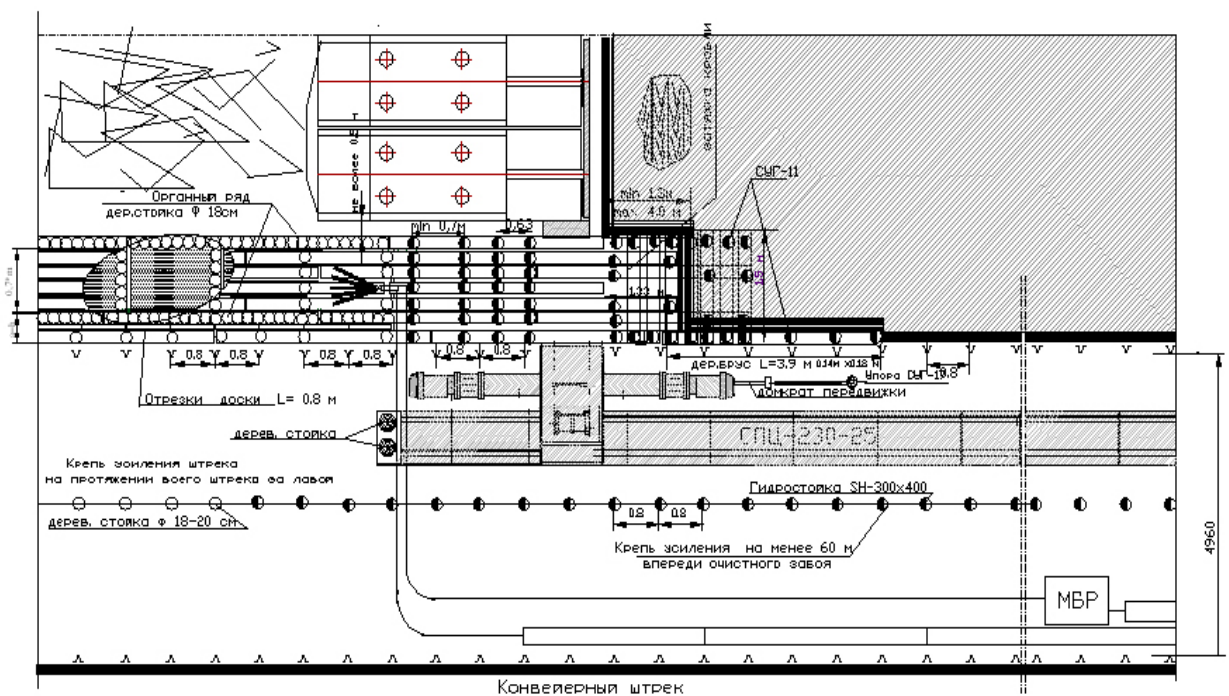


Рисунок 2.2 – Пневмоспосіб спорудження литої смуги

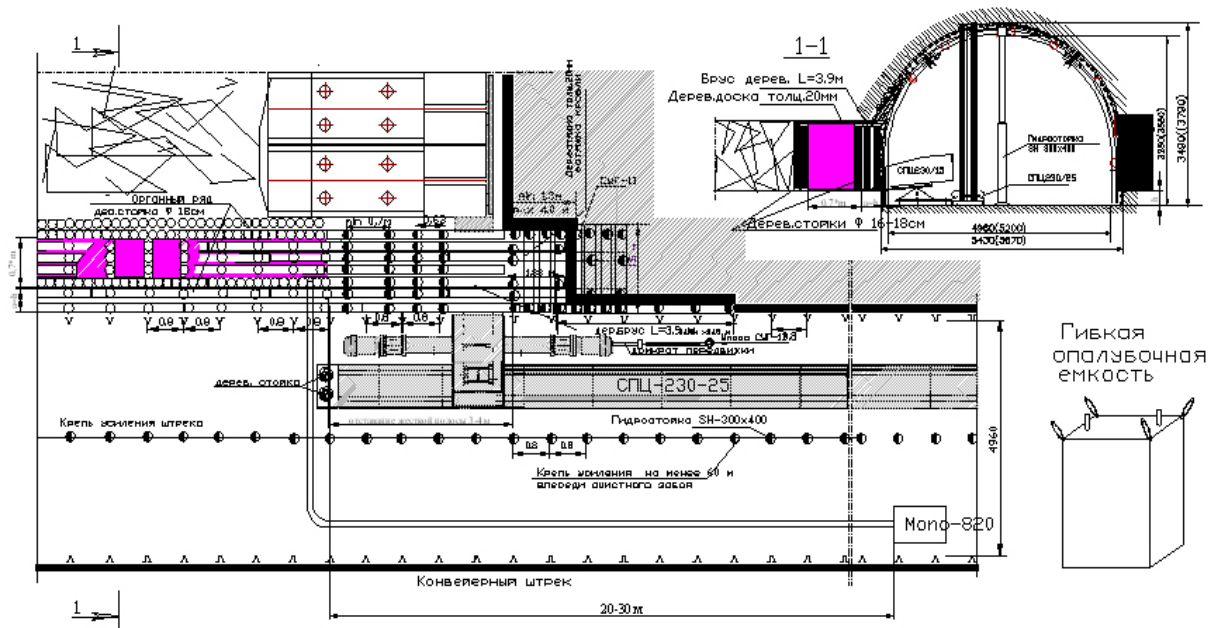


Рисунок 2.3 – Гідроспосіб спорудження литої смуги

Спроби вирішити проблему запізненого вступу в роботу литої смуги, через твердіння суміші були спрямовані на пошук оптимальних комбінованих способів охорони, які поєднували литу смугу з жорсткими збірними конструкціями. Прикладом такої комбінації є схема зображена на рис. 2.4 – охоронна смуга, що була комбінацією литої смуги з залізобетонними блоками.

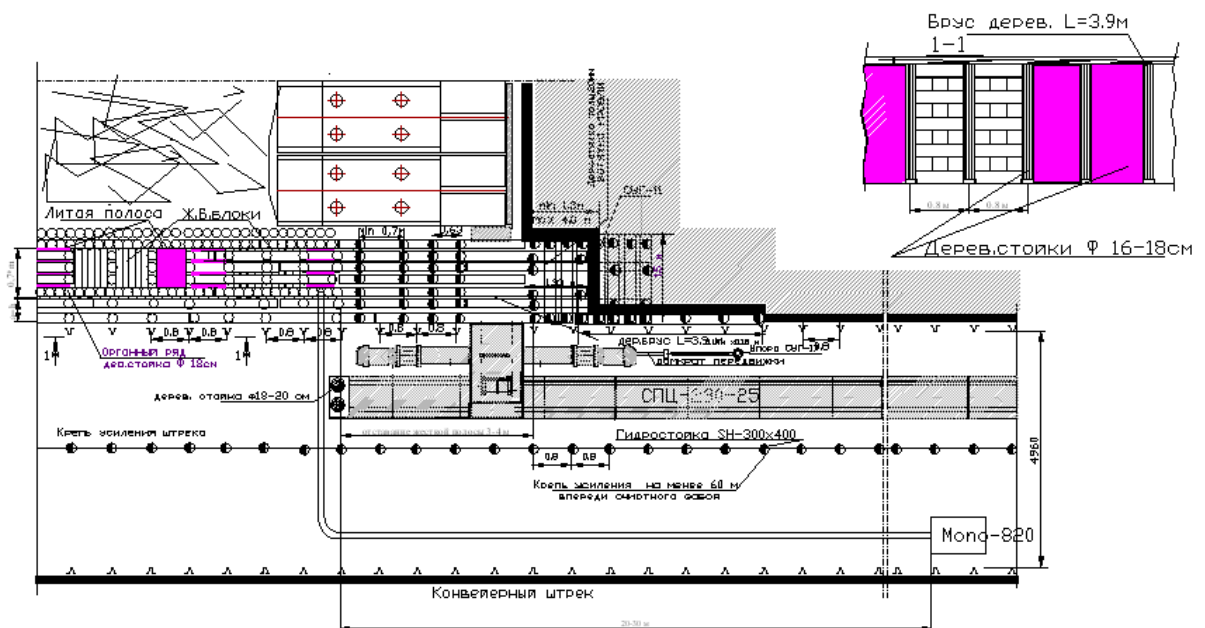


Рисунок 2.4 – Комбінована смуга (лита смуга і БЗБТ, що чергуються)

Комбіновані конструкції біляштрекових смуг не знайшли свого місця в умовах ПРАТ ш/у Покровське через суттєві технологічні мінуси: складність практичного впровадження, велику долю ручної праці на зведення і доставку під лаву, ускладнену логістику елементів смуги і т.п.

Наступний крок удосконалення охорони виїмкової виробки полягав у поєднанні охоронної смуги і комбінованого рамно-анкерного кріплення. При цьому використовується прогресивна технологія сталевопопідмерних анкерів, які забезпечують штучну опору в покрівлі виробки зі зміцнених порід, які армуються анкерами. Армування покрівлі анкерним кріпленням зменшує руйнування покрівлі, забезпечує піддатливе її осідання в зоні активних зрушень та перешкоджає значному розміцненню після руйнування. Було експериментально доведено, що спільна дія податливих рам, анкерів та литої смуги створює додатковий синергетичний ефект, який на 40-60 % знижує конвергенцію порід в порівнянні з випадком, коли ці технології застосовуються окремо. Така позитивна взаємодія досягається завдяки взаємному доповненню впливів рам, які створюють стискаючі напруження в породах покрівлі, анкерів, які стягують шари покрівлі і перешкоджають їх розшарування і литої смуги, яка зменшує осідання порід покрівлі над виробленим простором лави та усуває додаткове навантаження шляхом обрізання консолі зависаючих порід. Саме таке поєднання ефектів в блоках 5,6,7,8 дозволяло зберігати перетин виробки за лавою на рівні 9-11 м² при вихідній його величині 15 м² [3].

Крім наведених вище заходів були впроваджені і додаткові, що дозволяли посилити позитивний ефект. До цих додаткових заходів належить, перш за все, встановлення підхватних анкерів під верхняк рамного кріплення з боку лави. Ці підхвати утримують верхняк навпроти вікна лави, де знімається стійка рами з боку лави для можливості просування головки лавного конвеєра та роботи пункту пересипу. В цьому випадку витримується багатоцільова спрямованість заходу, оскільки підхватні анкери не тільки

утримують верхняк, але й додатково посилюють покрівлю виробки, запобігаючи розшарування [3].

Перехід гірничих робіт на більші глибини блоків 10,11,12 призвів до уповільнення об'ємів повторного використання виробок. Так в якості прикладу можна навести охорону конвеєрного штреку 10 південної лави блока 10 (рис. 2.5). Як видно з рисунку на нижньому сполученні повторне використання не передбачене. Конвеєрний штрек охороняється звичайними дерев'яними кострами, які встановлюються в один ряд. Згідно з паспортом рамне кріплення після погашення виробки не вилучається. Погашена частина виробки відшивається дощато-парусною перемичкою. Для підтримання ділянки сполучення додатково встановлюється штангове кріплення довжиною 4,0 м.

Однак пізніше в блоці 10 були відновлені спроби забезпечення повторного використання конвеєрних штреків. Так при відробці 6 південної лави блока 10 було використано литу смуги з порожнинами (вікнами) (рис. 2.6). Ширина литої смуги становила 1,6 м, додатково встановлювалось 3 ряди органного кріплення з дерев'яної стійки діаметром 18 см. Для стримання деформування покрівлі у вікнах, в них встановлювали по два кусти з трьох стійок.

При відпрацювання виїмкового поля 5 південної лави блока 10 було використано литу смугу без вікон, тобто залиту суцільно (рис. 2.7). Ширина біляштрекової смуги при цьому становила 2,3 м, тобто була збільшена відносно встановленої ширини в умовах першої черги відпрацювання. При цьому комбінована смуга складалась з трьох рядів органного кріплення і залитої шириною 1,7 м смуги, що на 10 см більше ніж в сусідньому полі 6 південної лави блока 10. Додатково у штреці використовували підбивку підосви породопіддирними машинами ковшового типу, що працювали за лавою.

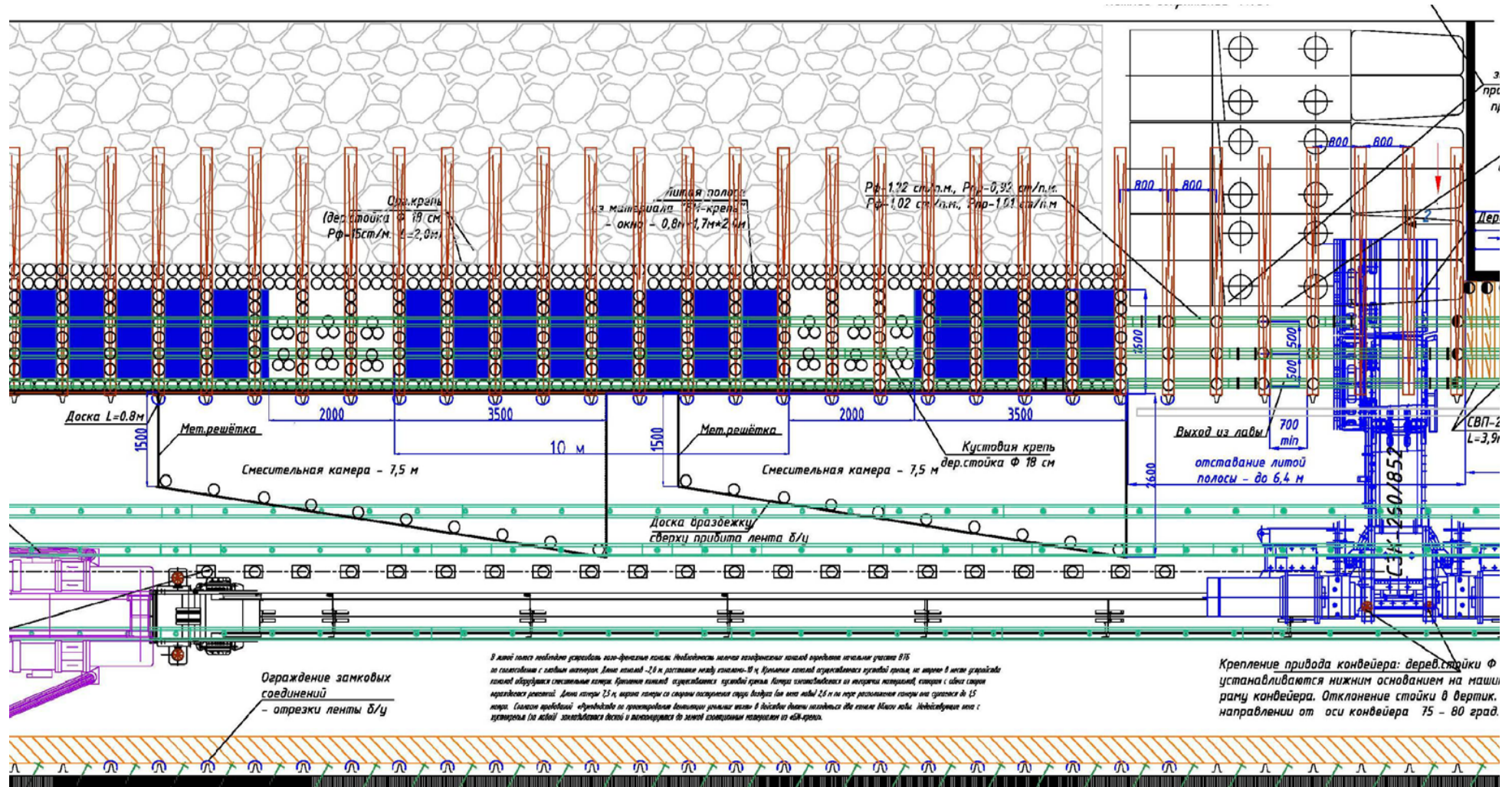


Рисунок 2.6 – Спосіб охорони конв. штреку 6 південної лави бл. 10 литою смогою

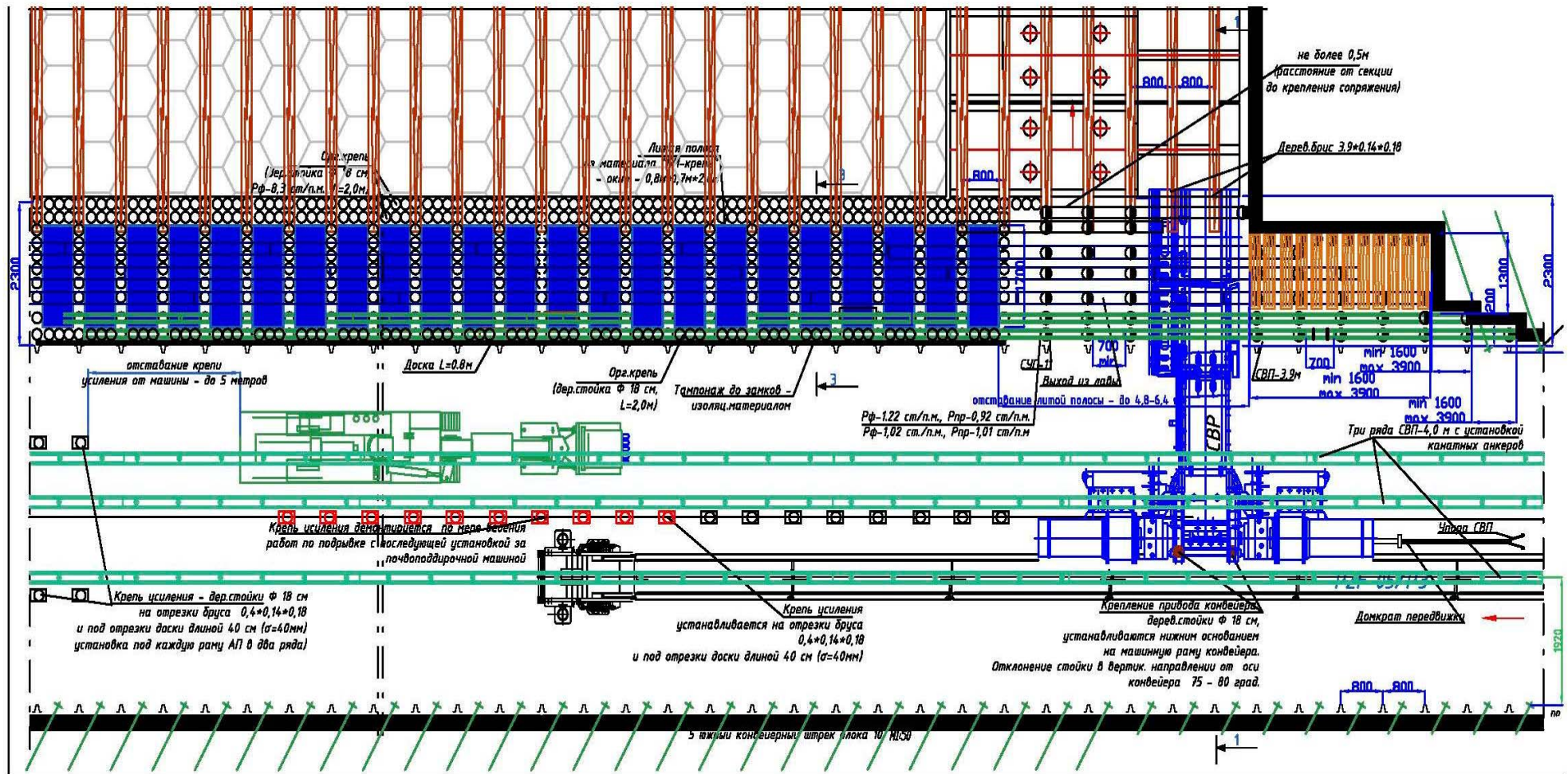


Рисунок 2.7 – Спосіб охорони конв. штреку 5 південної лави бл. 10 литою смугою

Аналіз сучасного стану виробок свідчить про те, що повторне підтримання штреків зі збільшенням глибини гірничих робіт потребує все більше і більше ресурсів. Просте збільшення ширини литої смуги, хоч і призводить до підвищення її несучої здатності, не може вважатись ефективним способом забезпечення стійкості, оскільки призводить до перевитрат суміші, що не дають пропорційного ефекту в стійкості.

Зокрема, однією з основних проблем, яка була ідентифікована під час спостережень за механізмом деформування порід покрівлі за лавою було розшарування порід за лавою, в зоні свіжо залито смуги. Справа в тому, що під час застигання суміші охоронна смуга не працює. Хоч цей час для «Бі-кріплення» не великий (суміш передбачає додавання прискорювачів твердіння), на набір мінімально необхідної несучої здатності витрачається декілька діб (як мінімум близько 80 годин, за дослідженнями О. Кожушка [4]). За цей час при темпах відпрацювання, характерних для ПРАТ ш/у Покровське лава може відійти на значну відстань, і коли лита смуга набере свою міцність, критичні розшарування порід вже відбуваються.

Таким чином удосконалення технології охорони гірничих виробок доцільно розвивати в напрямку забезпечення необхідної несучої здатності охоронної смуги в найкоротші терміни після оголення покрівлі.

3. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ, ПРИСВЯЧЕНИХ СПОСОБАМ ОХОРОНИ ВИЇМКОВИХ ШТРЕКІВ

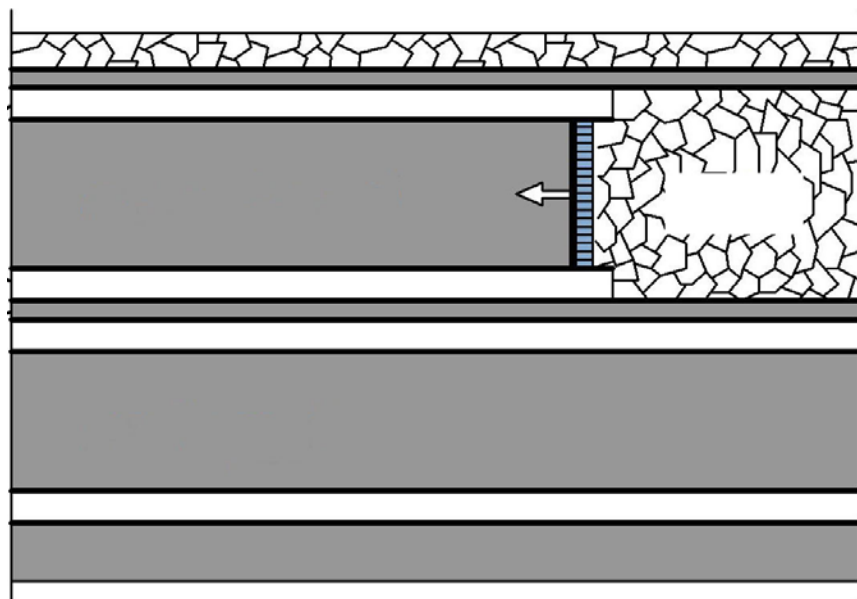
Активний видобуток мінеральних ресурсів вівся у минулому столітті багатьма країнами. Це призвело до істотного збільшення глибин, на яких видобуваються корисні копалини. Видобуток вугілля в СРСР, Польщі, Німеччині, Великобританії та Франції сягав глибини 1000 м ще в ХХ. В даний час глибина вугільних шахт досягла 1500 м, середня глибина шахт металевих руд досягла 2000 м, глибина шахт видобутку кольорових металів досягла близько 4500 м [5]. Збільшення глибини розробки призводить до ряду негативних явищ у шахтах: горні удари, великомасштабні обвалення тощо. Одним із характерних явищ, що спостерігаються на великих глибинах, є пошкодження та руйнування оточуючих породних масивів навколо гірничих виробок.

Гірничі виробки є дуже важливим елементом вугільної шахти. Від їх стану багато в чому залежить безпека і ритмічність роботи шахти, стабільність провітрювання, загальна вартість видобутих корисних копалин.

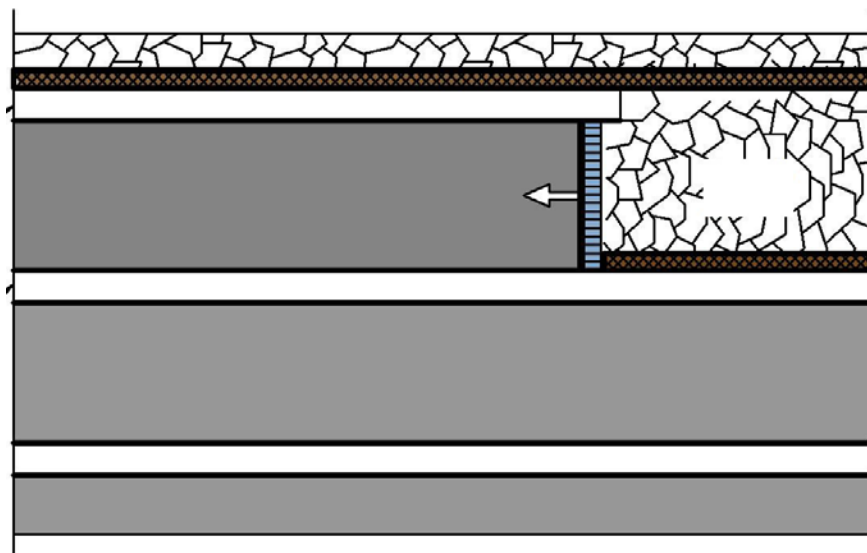
Поширеним методом підземного видобутку вугілля, який використовується в США, Китаї, Польщі, Росії, Україні, є видобуток лавами. У методі видобутку лавами після виймання вугілля породи покрівлі можуть обвалюватись в виробленому просторі. Найчастіше для розробки панелей у лавах США та Австралії використовуються підготовка трьома або чотирма виробками. Двоштрекова підготовка часто використовується при більш глибоких умовах для досягнення кращої стійкості штреків. На шахтах Європи та Азії широкі цілики ще в 80-х роках були замінені вузькими. Розмір вузького вугільного стовпа в Україні зазвичай становить 1,5-3 м, як показано на рис. 3.1а.

В останні роки активно розвивалася безціликова технологія, яка показана на рис. 3.1б. У цій технології конвеєрна виробка штучно

зберігається в якості вентиляційної виробки для наступної панелі за допомогою бетонних блоків БЗБТ, литих полос, та інших способів [6]. Сьогодні на багатьох вугільних шахтах Китаю, Польщі, України використовується безціликова виробка [7-9]. Багато вчених вважають, що необхідно терміново впроваджувати безціликову технологію видобутку з розумною економічністю та високою безпекою. В цьому рух ПРАТ ш/у Покровське співпадає з світовими трендами.



а)



б)

Рисунок 3.1 – Ціликова (а) і безціликова (б) підготовки виймкових полей

Як видно з рис. 3.1 б повторне використання при безціликовій підготовці полів вимагає влаштування штучних охоронних смуг. Механічні властивості способу охорони в цьому випадку значною мірою визначають стійкість штреків, що повторно використовуються.

Багато вчених вели дослідження в галузях підвищення ефективності охоронних споруд, вивчали оптимізацію підтримання гірничих виробок. Вітчизняними і закордонними науковцями були проведені випробування різних видів охоронних споруд, таких як дерев'яні костри, стінки і тумби з блоків залізобетонних тумб, литі смуги з швидкотвердіючих матеріалів [10-12]. Однак через недостатній опір та велику усадку більшість охоронних конструкцій сильно деформувались.

Однією з найпопулярніших традиційних охоронних споруд є бутова смуга. До її недоліків належать:

1. зведення вручну – найбільш трудомісткий метод, у якому несуче ядро становить 20-25% від її ширини, решта необхідна для того, щоб сформувати це ядро. Це є причиною високої податливості бутової смуги (до 60% потужності пласта);

2. при зведенні бутової смуги скреперною установкою зменшується трудомісткість, але водночас знижується і якість.

Іншим традиційним способом охорони є БЗБТ (рис. 3.2 в, г). До його недоліків належать:

1. для закладки зазору між покрівлею і тумбами використовуються дерев'яні шпали або круглий ліс діаметром 100-250мм, який передає навантаження не по всій площі, в результаті чого в місцях концентрації напруги блоки руйнуються, що призводить до зниження несучої здатності тумб;

2. використання прокладок у конструкції БЗБТ збільшує їх усадку.

До загальних недоліків дерев'яних конструкцій (рис. 3.2 д-и), відноситься те, що через підвищену температуру та вологість у шахтних

умовах деформація деревини збільшується, що веде до зменшення їхньої несучої здатності.

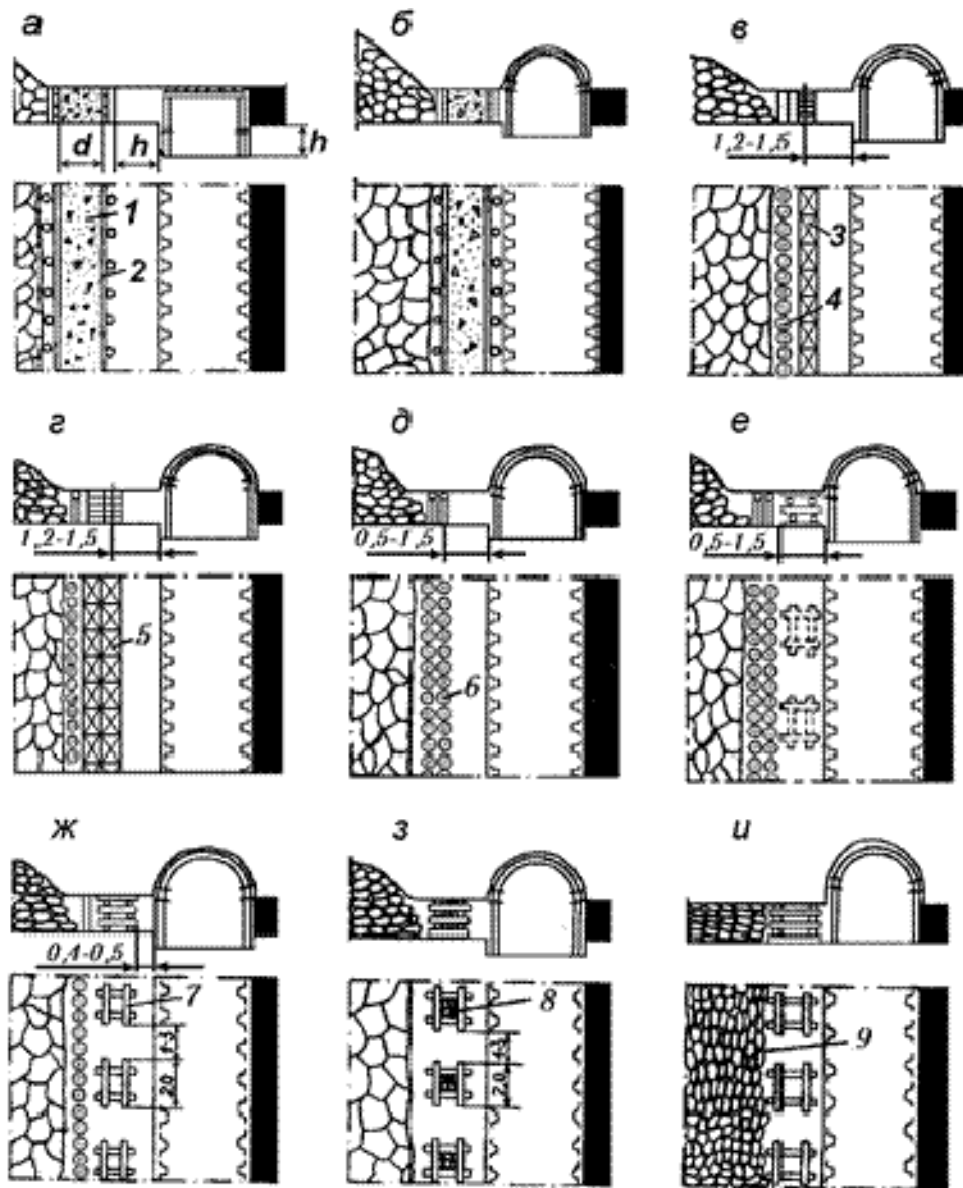


Рисунок 3.2 – Способи охорони підготовчих виробок

а, б) лита смуга; в, г) блоки БЗБТ; д) органне кріплення; е, ж) органне кріплення і костри; з) бутокостри; и) костри

До недоліків кострів (рис. 3.2 ж) відноситься те, що найбільшого опору дерев'яні костри досягають при усадці на 50% і більше. В результаті цього, залишковий переріз виробок, що охороняються за зоною активних

зсувів становить 45-65% від проектного значення. Такі виробки вимагають перекріплення не менше 2-х разів за весь період їх експлуатації

До недоліків органного кріплення (рис. 3.2 з) належать:

1. невелика площа контакту з покрівлею разом із великою кількістю чинників, які впливають її роботу, призводить до нерівномірної роботи органних стійок;

2. неможливо керувати її податливістю.

До недоліків бетонних напівблоків, які нині застосовують у невеликих обсягах, відносяться:

1. зведення газобетонного кріплення без прокладок призводить до руйнування напівблоків на контакті між шарами, внаслідок чого зменшується її несуча здатність;

2. використання прокладок у газобетонному кріпленні зберігає напівблоки від руйнування, але збільшує її усадку. Загальним недоліком перерахованих вище охоронних споруд, є те, що через зазор між охоронною спорудою та безпосередньою покрівлею вони не забезпечують попереднього розпору та вступають у роботу після її значних зсувів.

Найбільш перспективним способом є лита смуга (рис. 3.2 а). До її недоліків належать:

1. час вступу у роботу литої лінії залежить від часу набору міцності суміші;

2. зменшення несучої можливості литої лінії через: недолив по висоті; затримки зведення смуги після проходження лави; установки органного кріплення врозбїг; часткового заповнення заливальних секцій обваленою породою; відсутності забутки між смугою та рамним кріпленням;

3. навіть якщо був надійний контакт між покрівлею та смугою, то після усадки, виникає зазор між покрівлею та смугою та контакт зникає.

Такі самі недоліки литої смуги були встановлені і по результатах шахтних спостережень. Разом з тим цей спосіб є найкращим на сьогодні, і

його постійні удосконалення вченими всього світу привертають до нього все більше уваги. Основні напрями останніх покращень литих смуг наступні.

Бай та ін. [13] розробили нові висоководні швидкотвердіючі матеріали та пастоподібні матеріали для наповнення литих смуг. Їхні переваги включають високу опорну силу, швидкий набір опору, хороші показники обслуговування виробок, механізоване створення та хорошу ізоляцію.

Лі та Хуа [14], взявши за основу проекту вугільну шахту Хіеуї в Хуайнані, створили механічну модель ключових блоків (рис. 3.3) і безпосередньої покрівлі, а також проаналізували механізм взаємодії між ключовими блоками та навколишньою породою навколо сполучення щисловою. У результаті визначено доцільну ширину литої смуги, розраховано коефіцієнти стійкості опорних блоків та отримано чутливі коефіцієнти впливу факторів на стійкість опорних блоків.

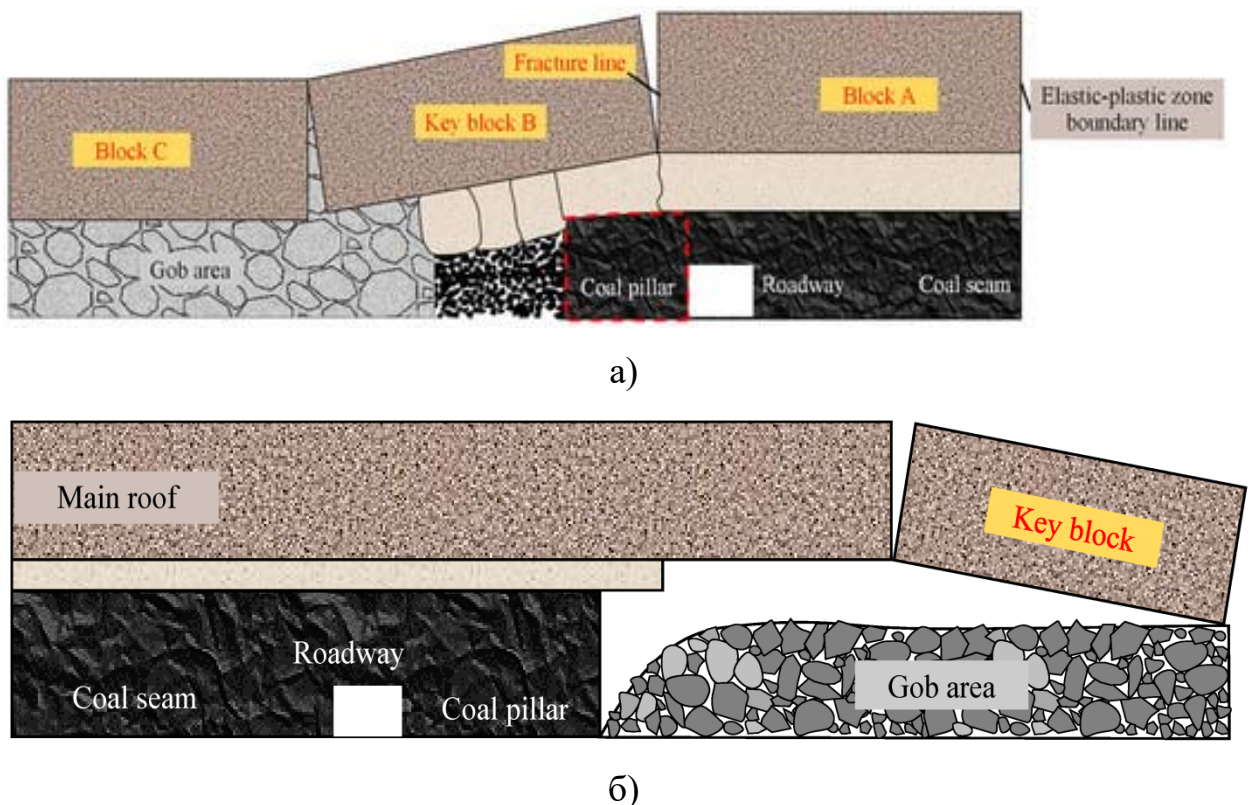


Рисунок 3.3 – Механічна модель ключових блоків

а) низька жорсткість цілика, б) висока жорсткість цілика

Чен та ін. [15] досліджували метод, що поєднує базову литу смугу з посиленою литою смугою, який є успішним у практиці методу утримання сполучення для умов легко і середньообвалюваної покрівлі (рис. 3.4).

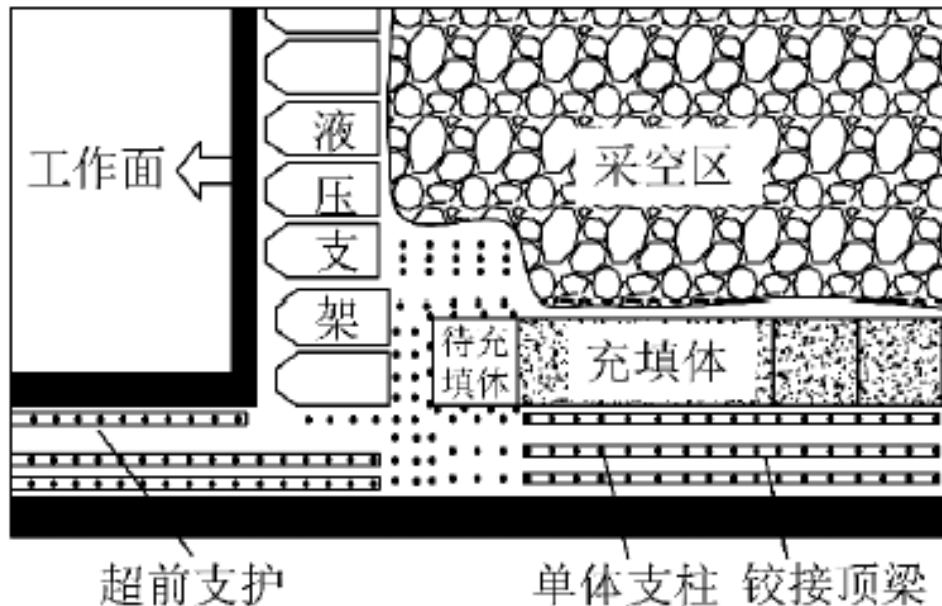
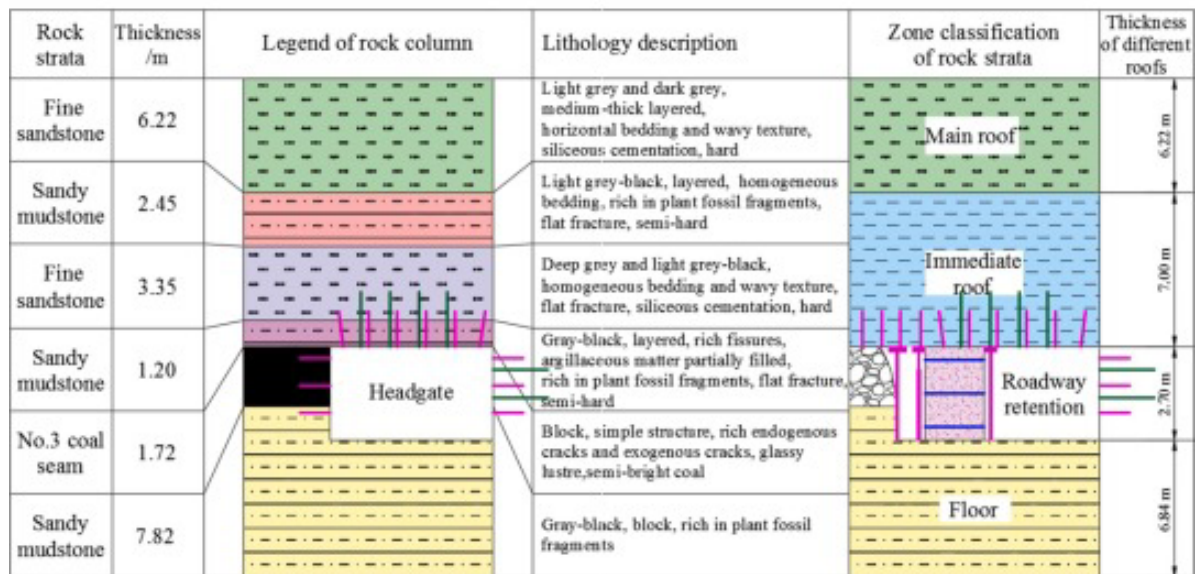


Рисунок 3.4 – Спосіб охорони штрека комбінованою смугою

Jiang та ін. [16] представили тематичне дослідження механізмів руйнування та конструкції опори для дороги з глибоких композитних м'яких порід на вугільній шахті Yangcheng у Китаї. На основі механізму руйнування було запропоновано новий спосіб охорони, який складався з сталевополімерних анкерів, гнучкого канатного анкера, металеві сітки, торкретбетону та литої смуги.

У роботі [17] досліджено несучу здатність кріплень гірничих виробок з гнучкою бетонною опалубкою для створення нової інтегрованої системи керування стійкістю. Цей підхід поєднує в собі гнучку бетонну опалубку, сталеву полімерне анкерне та анкерне кабельне кріплення для утримання навколишньої породи штрека. Згадана технологія, що з'явилася в останні роки, застосовувалася в підпирній техніці, в якій покрівлею керують методом обрушення, але висока вартість обмежує її широке застосування.



(b) Geological column chart of No. 3 coal seam and rock strata at the 3302(2) coalface

Рисунок 3.5 – Спосіб охорони штрека збірною смугою

Наведені удосконалення литої смуги не вирішують проблему запізнілого контакту полоси з покрівлею і проблему усадки. Хоча сучасні суміші мають значно менший час твердіння ніж «Бі-кріплення», яке використовується в ПРАТ ш/у Покровське. Невирішеною проблемою сумішей з прискорювачами твердіння залишається неможливість керування часом початку реакції твердіння. Таким чином розчин в бетонозмішувачі і трубопроводі також швидко застигає, що при затримках в роботі по зведенню смуги може вивести обладнання з ладу.

Ідеальним рішенням було би використання в якості матеріалу литої смуги швидкотвердіючих полімерних сумішей, з керованим часом полімеризації, наприклад шляхом додавання відповідного реагента (ініціюючого твердіння) в залиту полосу. Однак такі рішення на сьогоднішній момент не можуть бути реалізовані в об'ємах заливки литих смуг. Такі композиції використовують для кріплення анкерних болтів. Собівартість таких сумішей настільки велика, що в найближчій перспективі відсутня можливість їх удосконалення і здеревіння до придатних значень.

Навіть ціна звичайної литої смуги на основі цементних в'язучих для умов українських шахт занадто велика.

Сьогодні ведуться дослідження в напрямку використання відходів гірничої промисловості для формування твердіючих сумішей з метою зниження собівартості матеріалу литої смуги, проте прийнятного рішення по співвідношенню ціни, несучої здатності і часу вердіння на сьогоднішній момент немає. Тому шлях використання модифікованих бетонів вважаю в сьогоднішніх реаліях не перспективним.

Ідея використання комбінованих охоронних смуг, запропонована Чен та ін. [15], також була реалізована в умовах українських вугільних шахт. Так, С.Г Негрій пропонував використовувати бутові смуги змінного опру (рис. 3.6).

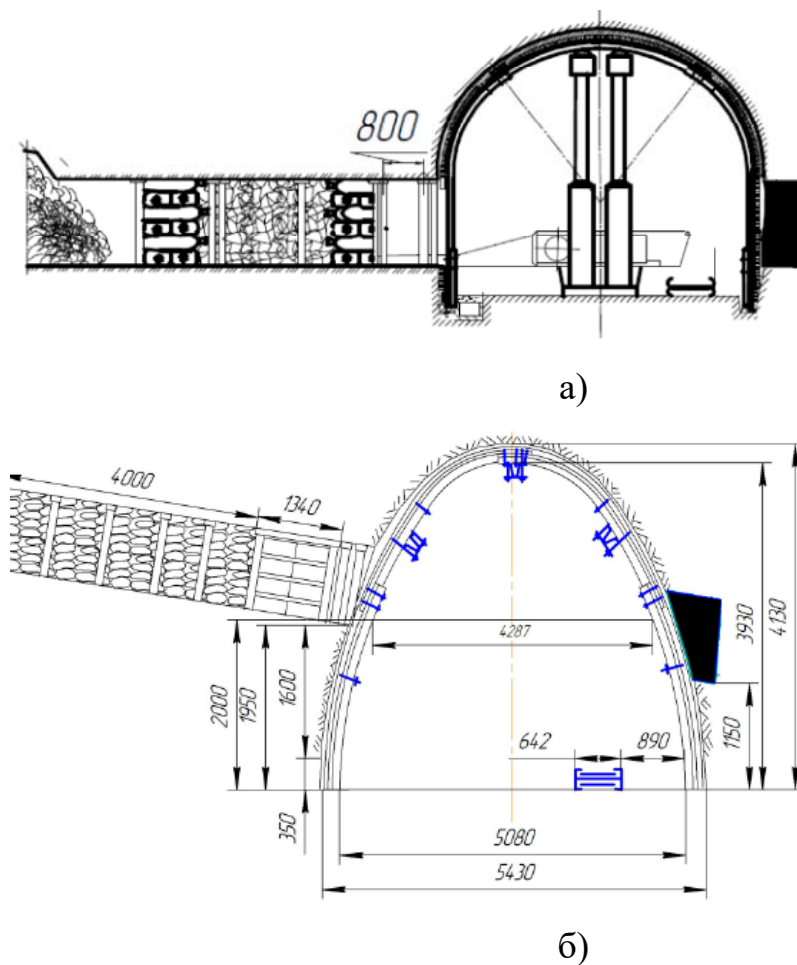


Рисунок 3.6 – Способи охорони штреків зі зміненою несучою здатністю а) жорстка ззовні і піддатлива в центрі; б) жорстка біля виробки піддатлива на віддаленні (С.Г. Негрій)

Такі смуги не можуть бути використані в умовах ПРАТ ш/у Покровське, оскільки мають дуже низьку несучу здатність і високу піддатливість. Окрім того зазначені способи охороги розроблені для умов суцільних систем розробки, що відпрацьовують виїмкові поля прямим ходом. В умовах ПРАТ ш/у Покровське такі системи розробки не використовуються, а виїмкові поля відпрацьовуються зворотнім ходом.

В.Ю. Медяник запропонував спосіб охорони, що передбачає зведення постійної бутової полоси і комбінованої бутової полоси, а між ними – жорсткої полоси, на бермі виробки з боку пласта – піддатливу й жорстку опори.

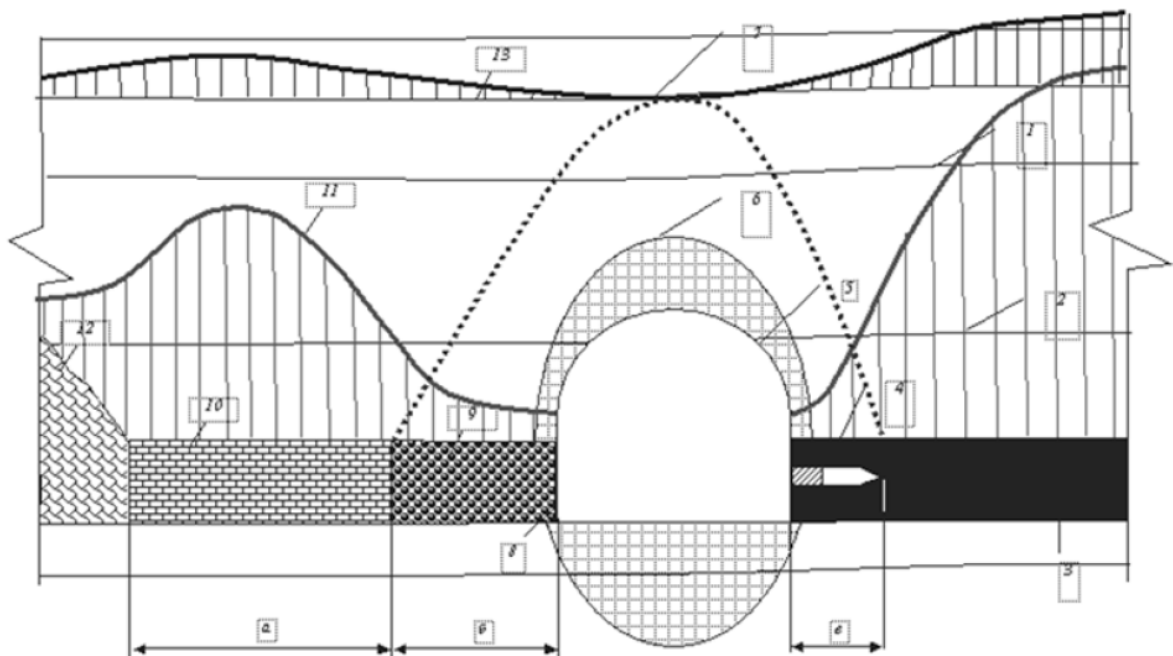


Рисунок 3.7 – Спосіб охорони конвеєрного штрека бутовою смугою змінного опору (В.Ю. Медяник)

Такі смуги також не можуть бути використані в умовах ПРАТ ш/у Покровське, оскільки мають дуже низьку несучу здатність і високу піддатливість. Окрім того спосіб має не виправдано велику складність викладки і велику долю ручної праці. Це не дозволяє забезпечити високі темпи посування лав, характерні для ПРАТ ш/у Покровське, через відставання темпів спорудження литої смуги.

Таким чином, проведений аналіз вказує на те, що існуючі на сьогодні рішення не дозволяють вирішити проблеми, що виникають при охороні штреків для повторного використання в умовах ПРАТ ш/у Покровське. У світовому контексті дослідження переважно зосереджені на охороні виробок прямокутної форми проведених по вугільному пласту великої потужності. Прямо врахувати досвід закордонних гірників неможливо. Вітчизняні вчені питанню запізненого вступу литої смуги в роботу не приділяють необхідної уваги. Таким чином це питання є актуальним і не вирішеним на сьогодні.

4. РОЗРОБКА СПОСОБУ ОХОРОНИ КОНВЕЄРНИХ ШТРЕКІВ БІЛЯШТРЕКОВИМИ СМУГАМИ З МЕТОЮ ЇХ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ

З наведеного в 3 розділі магістерської роботи аналізу літератури робимо висновок, що готових рішень, що могли би бути використані для підвищення ефективності охорони виробок в умовах ПРАТ ш/у Покровське, немає. Проте удосконалений спосіб повинен ґрунтуватись на способі охорони литими смугами, що використовується на підприємстві.

При цьому необхідно врахувати важливі моменти:

- удосконалений спосіб повинен забезпечувати достатню несучу здатність в умовах відпрацювання блоку 10 і наступних блоків;
- удосконалений спосіб повинен мати нижчу вартість ніж базовий спосіб охорони литими смугами, що використовується на підприємстві;
- удосконалений спосіб повинен виключати недолік усадки смуги після заливки внаслідок вступу в реакцію води.

Вирішення перших двох проблемних моментів пропонується досягти за рахунок використання литих смуг на основі відходів виробництва. Це дозволяє з одного боку знизити вартість матеріалу литої смуги, а з іншого – збільшити ширину смуги до необхідної величини. Як вказує досвід відпрацювання 5 і 6 лав в південній частині блока 10, ширина смуги має становити щонайменше 1,7 м.

Для вирішення третього проблемного моменту пропонується новий спосіб заливки смуги з регульованим розпором твердуючої суміші. Сутність способу продемонстрована на рис. 4.1. Як і в шахтному варіанті лита смуга формується у відсіках, тобто заливається за секційним принципом. Згідно з запропонованим рішенням в кожен секцію слід додати пневмобалон у вигляді резинового рукава. Після щаливки матеріала литої смуги пневмобалон стиснутий вагою суміші. В процесі твердіння лита смуга

піддається усадці на 2-5% по об'єму. Для компенсації усадки і підтримання контакту смуги з поверхнею покрівлі до пневмобалона подається стиснуте повітря з шахтного пневмостава. В результаті балон надувається і «піднімає» смугу до контакту з покрівлею. Після схоплення суміші (початку твердіння) контакт між породами покрівлі і литою смугою забезпечений, що дозволяє швидко вступити охоронній смузі в роботу. Порожнини, що утворилися в місцях пневмобалонів, після застигання суміші доцільно забетонувати.

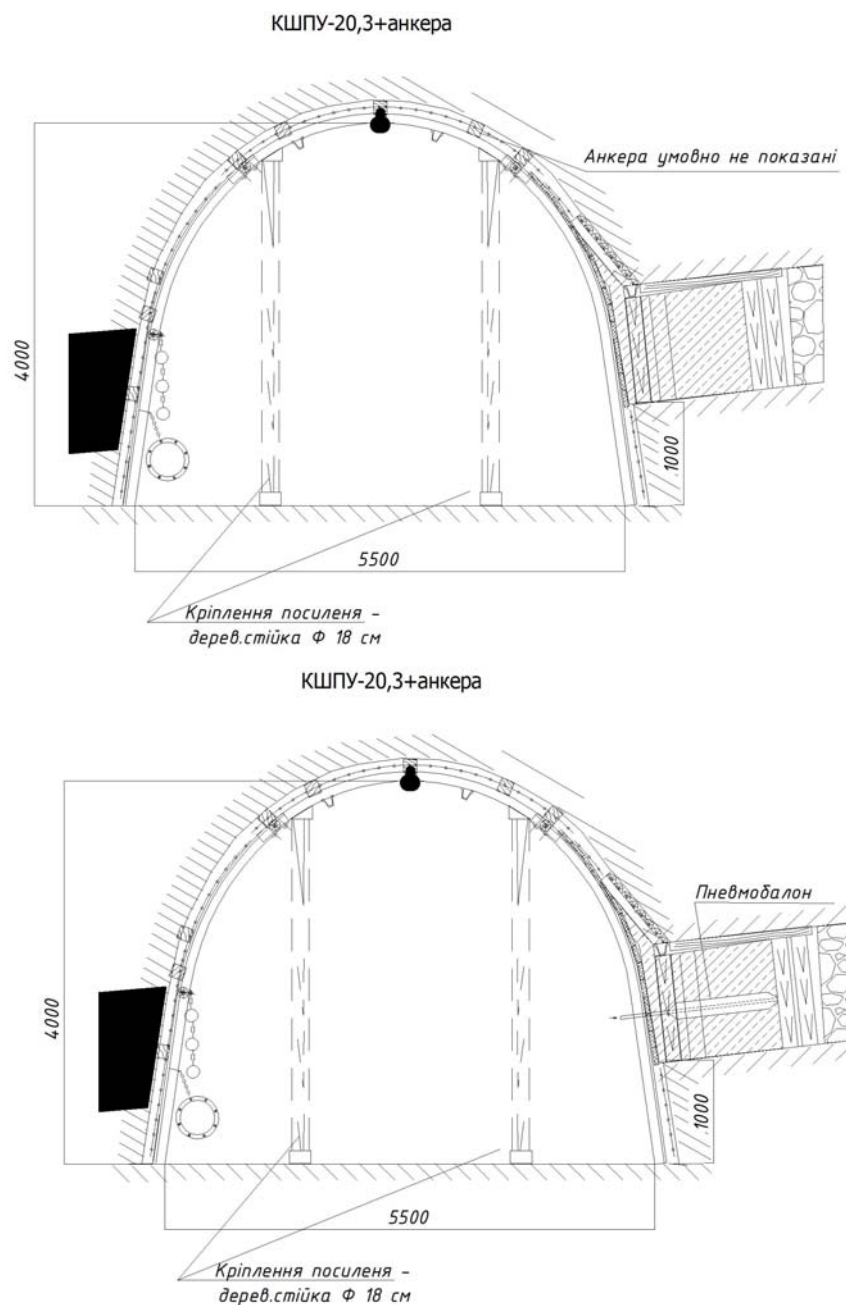


Рисунок 4.1 – Охорона виробки литою смугою а) шахтний варіант;б) запропонований варіант

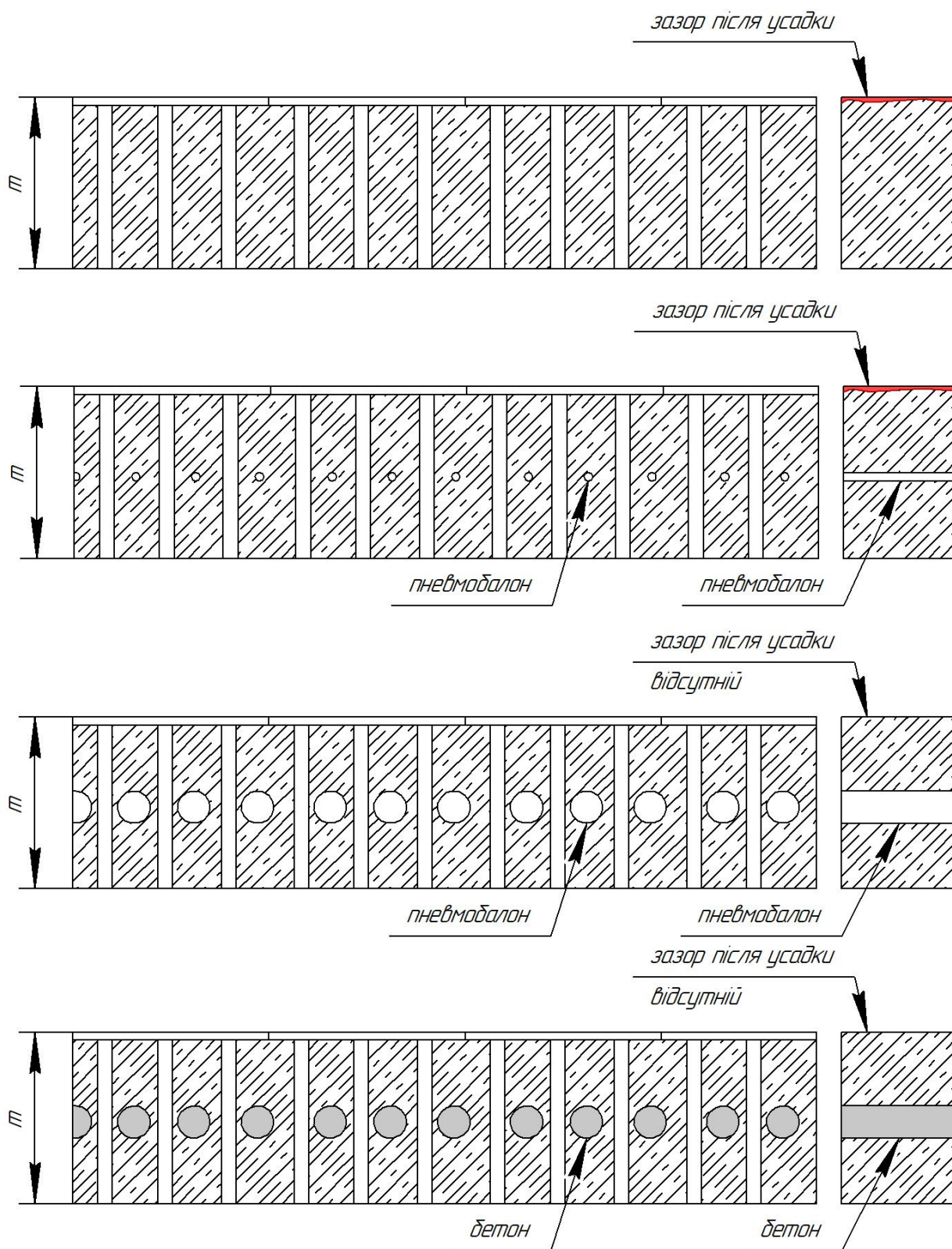


Рисунок 4.2 – Етапи реалізації запропонованого способу охорони штретків литими смугами а) заливка литої смуги, б) встановлення пневмобалонів, в) надування пневмобалонів і розпор смуги, г) бетонування порожнин після застигання матеріалу литої смуги

У роботах [18–19] запропоновано використання породи як наповнювального матеріалу для литих смуг, який може допомогти також в зниженні видачі породи на поверхню і засміченню ґрунтів. Це дозволяє знизити вартість литої смуги і вирішити проблему породних відходів.

У роботі [20] досліджено експлуатаційні характеристики бетону з додаванням породи для його застосування як матеріалу литих смуг. Мінерально-породний заповнювач – це бетонний матеріал, що використовує пусту породу як грубий заповнювач і цемент як цементуючий матеріал, змішаний з певною кількістю добавок. Завдяки лабораторним дослідженням Gong et al. [20] зосереджено на вивченні впливу водоцементного відношення, вмісту заповнювачів на міцність при стиску та пошкідливу несучу здатність такого бетону (рис. 4.3).

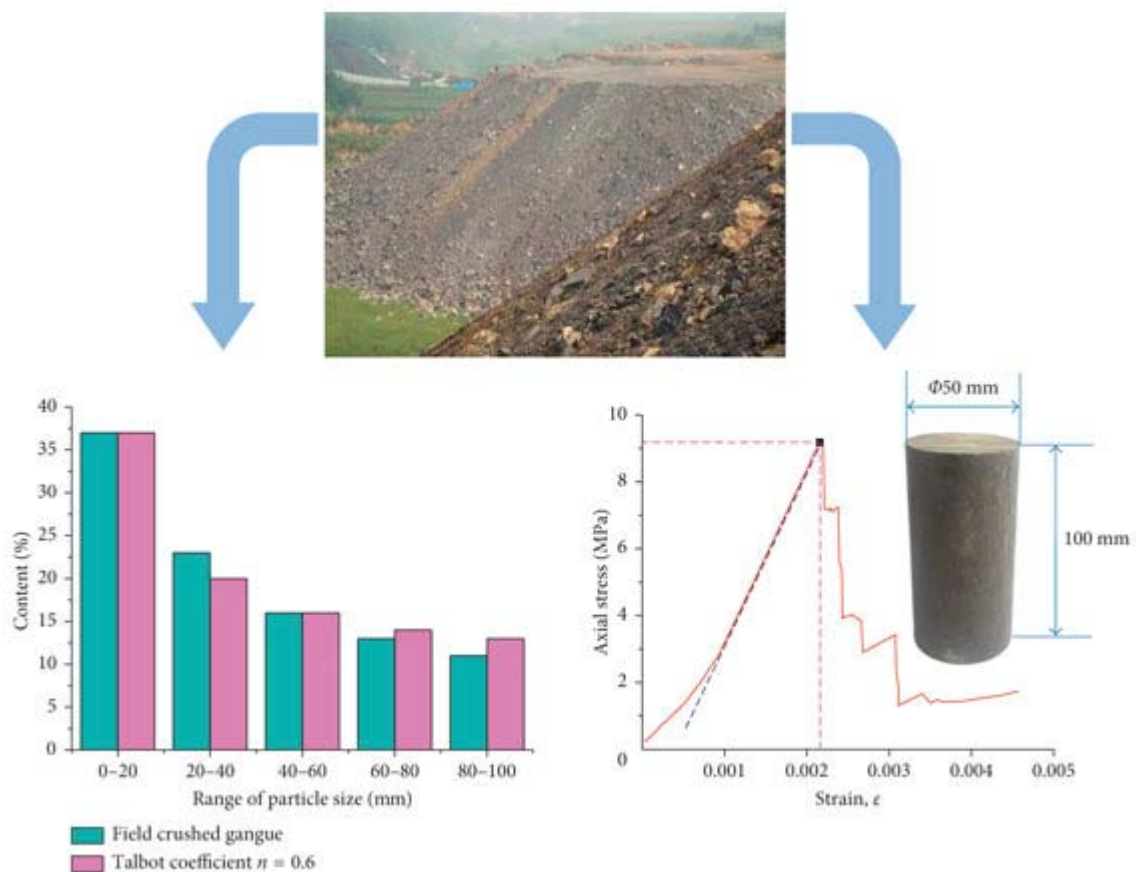


Рисунок 4.3 – Дослідження властивостей бетону з додаванням пустої породи [20]

Властивість бетону з додаванням породи останнім часом досліджуються вченими для різних сфер застосування. Ці матеріали набирають популярність і використовують у будівництві [21], а також як дорожній базовий матеріал [22].

Застосування бетону з додаванням породи в гірничому виробництві Китаю як матеріалу литих смуг, переважно асоціюється із застосуванням повної закладки вироблених просторів [23-25], проте подібні технології становлять інтерес, і для технологічних схем з повним обрушенням. Такий досвід представляє інтерес при повній механізації відпрацюванні вугільних пластів потужністю 0,8-2,0м, що відповідає умовам ПРАТ ш/у Покровське. Таким чином в якості пропозиції пропонується використовувати в якості добавок до матеріалу литої смуги подріблену породу, відповідно до досліджень, наведених вище.

Таким чином, проведений аналіз свідчить про те, що можливість повторного використання штреків, що підтримуються за лавой в першу чергу визначається матеріалом і параметрами заливки литих смуг. Можливість застосування того чи іншого варіанту конструкції і технології спорудження литої смуги при повторному використанні виробок визначається горно-геологічними умовами і технологічними параметрами відпрацювання пласта.

Вище були запропоновані два технологічні рішення для удосконалення шахтної технології спорудження литої смуги:

- для виключення усадки смуги після її заливки внаслідок вступу в реакцію води запропоновано використання розпорних пневмобалонів;
- для зниження вартості матеріалу литої смуги відносно базового способу охорони литими смугами з Бі-кріплення, що використовується на ПРАТ ш/у Покровське запропоновано використання в якості добавки до матеріалу литої смуги подрібленої породи. Дослідження таких матеріалів наведено в роботах, проаналізованих вище.

Удосконалений спосіб повинен забезпечувати достатню несучу здатність в умовах відпрацювання блоку 10 і наступних блоків. Для визначення впливу вказаних пропозицій на стійкість виробок проведемо дослідження зміни розподілу напружень навколо штреків при їх повторному використанні.

5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОГО СПОСОБУ ОХОРОНИ ШТРЕКІВ ЛИТИМИ СМУГАМИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

5.1. Вибір програми комп'ютерного моделювання, опис постановки задачі

В магістерській роботі обрано метод комп'ютерного моделювання, щоб дослідити еволюцію поля напруги навколо штреків після проходження лави. Сьогодні є багато програм, які працюють та практичні завдання схожі до поставлених в магістерській роботі. Серед них найбільше поширення отримали Abaqus, F L A 3 D, A n s y s, P L A X I S 3 D, N a s t r a n, M A R K, P h a s e-2, Solid Works, 3 D E C, Get F E M++, П К Л І Р А , та ін. Проте кожна з програм має свої особливі підходи до вирішення завдань, а також сильні і слабкі сторони.

Виходячи з того, що об'єктом дослідження є шаруватий вуглепородний масив, враховуючи наявність різних порід покрівлі і підосви, а також геостатичний тиск, рішення передбачає розгляд просторово неоднорідної математичної моделі. На основі цього погляду були сформовані основні вимоги до оптимальної програми комп'ютерного моделювання. Програма має дозволити:

- моделювати неоднорідний шаруватий гірський масив;
- надавати шарам порід різноманітні фізико-механічні властивості з урахуванням анізотропії масиву;
- моделювати спосіб охорони з різними властивостями;
- давати можливість аналізу напружень;
- розв'язувати задачі в 3Д постановці;
- враховувати характер взаємодії пластів порід на контактах.

Були проаналізовані три комп'ютерні програми, що задовольняють цим вимогам: P h a s e- 2, A n s y s і Solid Works.

Р h a s e-2 призначений для рішення пружно-пластичних задач в галузі гірничої геомеханіки і геотехніки. В основі знаходиться метод скінченних елементів. Р h a s e-2 дозволяє розрахувати стан масиву (напруження та деформації) навколо підземних об'єктів [26].

Розглянемо особливості використання програми Р h a s e-2 для розрахунку напружень навколо штреків при їх повторному використанні.

Спочатку будують геометричну модель шляхом креслення геометрії масиву і виробки –вводять координати точок контуру, кути, ширину, висоту, заокруглення, далі вводять розміри досліджуваної моделі.

Після цього модель поділяється на сітку скінченних елементів в автоматичному режимі. Елементи, як правило, тривузлові.

Початкові напруження задають введенням головних напружень σ_1 , σ_2 , σ_3 , і кута між напруженням σ_1 і оссю ох.

Пошарово задають фізмех властивості порід: модуль пружності Юнга, коефіцієнт Пуассона, критерій міцності (Кулона - Мора, Хоека - Брауна, Друкера - Прагера), коеф. зчеплення, міцність, кут внутрішнього тертя. Після формування розрахункової моделі і завдання граничних умов та властивостей матеріалів виконують комп'ютерний розрахунок і аналіз результатів [26].

Переваги програми Р h a s e-2:

- інтуїтивно зрозумілий інтерфейс;
- можливість отримання результатів шляхом нескладних;
- моделювання шаруватих масивів;
- відображення результатів рішення у вигляді кольорових картин напружень і деформацій;
- експорт результатів в Microsoft Excel.

Недоліки програми Р h a s e-2:

- працює лише в пружній постановці;
- при визначенні зон руйнування порід навколо виробок, застосовано некоректний метод пружного накладання;

- немає можливості побудови графіків за власним бажанням, в інших координатних осях виведення даних файлів, вибору необхідних для конкретних задач розподілу параметрів потрібним кутом в просторі);

- обмежені характеристики режиму роботи кріплення, вузлів піддатливості та комбінованих кріплень.

- відсутність вбудованого хелп-меню укладки, що вимагає втрат асу для адаптації [26].

Solid Works це система автоматизованого 3D проєктування. Він дозволяє:

- створювати 3D-моделі, з різною технологічно навантаженою інформацією;

- використовувати каталоги стандартних виробів, матеріалів та ін., що скорочує час моделювання;

- автоматично генерувати креслення;

- виявити помилки на ранній стадії моделювання, що скорочує час моделювання.

В Solid Works вбудовано Simulation блок. Це додаток комплекс скінченно елементного моделювання у вигляді відкритої системи модулів, для розв'язання задач міцності і стійкості.

Переваги Solid Works:

- зручний інтерфейс;
- інтуїтивно зрозумілі принципи проєктування;
- можливість створення 3Д моделі з «плоского» ескізу;
- швидка адаптація і освоєння програми;
- зручний формат хелп-меню;
- взаємодія з MSExcel та ін;
- відкритий доступ.

Недоліки SolidWorks:

- відсутність пружно-пластичного рішення;
- фокус на машинобудування, а не геомеханіку.

A n s y s входить до числа «важких» традиційних і давно відомих скінченно-елементних пакетів. Рухаючись від «материнської» галузі- ядерної енергетики, одночасно в усі боки фізичних процесів, він завоював ринок ке послуг по всьому світу. Найбільш потужні модулі цього пакета:

- міцність;
- теплофізика;
- гідрогазодинаміка;
- електромагнетизм.

До сильних сторін A n s y s відносять:

- потужну інтеграцію та обмін дата файлами з CAD / CAE / CAM - системами;
- відкритість до ручного налаштування (модифікованість і доповнюваність);
- кращий показник «ефективність/ціна»;
- це єдиний, розроблений і сертифікований продукт міжнародних стандартів ISO 9000 та ISO 9001.

A n s y s має велику і найкращу серед конкурентів систему хелп в інтерактивному режимі online на основі гіперпосилання. Побудова геометрії моделей та їх коригування здійснюються засобами вбудованого геомодельєра.

A n s y s забезпечує велику кількість нових і поліпшених можливостей, які надають рішення для прискорення процесу створення нових пристроїв, шляхом моделювання найскладніших інженерних задач, впроваджувати інновації з високопродуктивними обчисленнями [26].

Переваги програми A n s y s:

- можливість паралельного використання кількох процесорних ядер, що збільшує продуктивність і скорочує час;
- дослідження тіл з нелінійною геометрією;
- імпорт press/stress з зовнішніх джерел;

- аналіз взаємодії різних фізичних явищ, що якісно симулює умови реального світу.

Недоліки програми A n s y s:

- неможливість (рециклінгу) відміни останніх дій, хоча функція рестарту присутня;
- не «дружній» і ускладнений інтерфейс;
- розрахований на вирішення вузькоспеціалізованих задач;
- висока вартість програмного продукту;
- обмежений доступ застосування програми.

Два останні недоліки нівелюються в академічній версії програми, що доступна студентам і викладачам. Однак академічна версія має обмежений термін і урізаний функціонал відносно базової. Однак для вирішення студентських задач цієї версії цілком достатньо.

Аналіз параметрів наведених програм дає підстави для обрання в якості системи програмного забезпечення аналізу методом скінченних елементів A n s y s в академічній її версії, що доступна на сайті A n s y s [27].

5.2 Опис моделювання і його результати

Моделювання проводилося в об'ємній постановці в натуральному масштабі 1:1. У рішенні використовувався стандартний метод моделювання напружено-деформованого стану масиву поблизу різних гірничих споруд з використанням принципу суперпозиції сил. Враховано геометричні та фізичні нелінійності, характерні для задач гірничої геомеханіки. Тому чисельний аналіз проводився ітераційним методом Ньютона-Рафсона.

В моделі імітувалися геологічні умови, характерні для ПРАТ ш/у Покровське, описані в попередніх розділах магістерської роботи. У чисельній імітаційній моделі потужність вугільного пласта становить 1,5 м. Безпосередня кровля була представлена алевролітом потужністю 2,5 м, прочністю на одноосне стиснення 40 МПа. Основна кровля - піщаник

потужністю 6,0 м, прочністю 70 МПа. Породи підосви - аргіліт з міцністю на одноосне тиснення 40 МПа. Для моделювання поведінки гірських порід використовувалася деформаційна модель Друкера-Прагера (рис. 5.1).

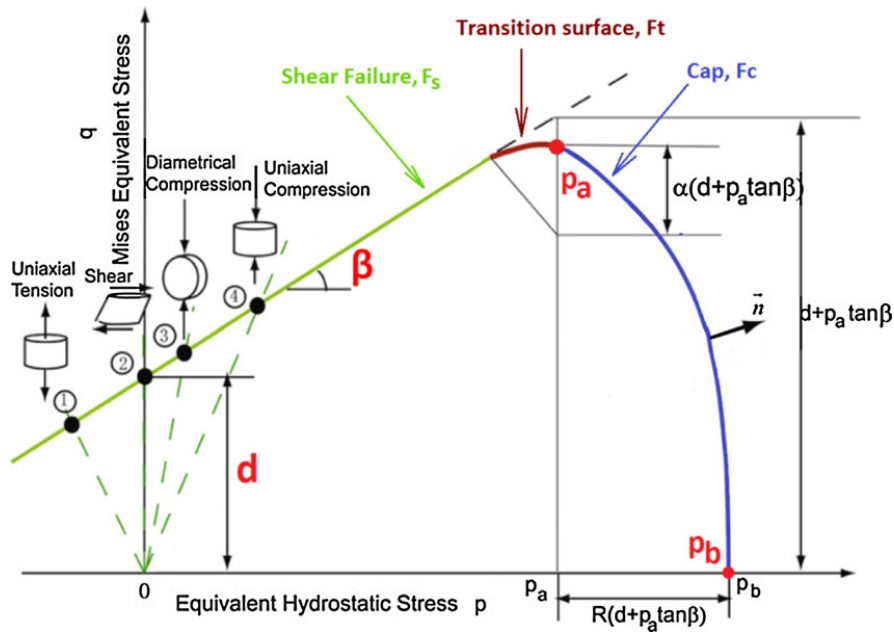


Рисунок 5.1 – Ілюстрація моделі Друкера-Прагера

Структурна схема моделі зображена на рис. 5.2. Властивості порід в табл. 5.1.

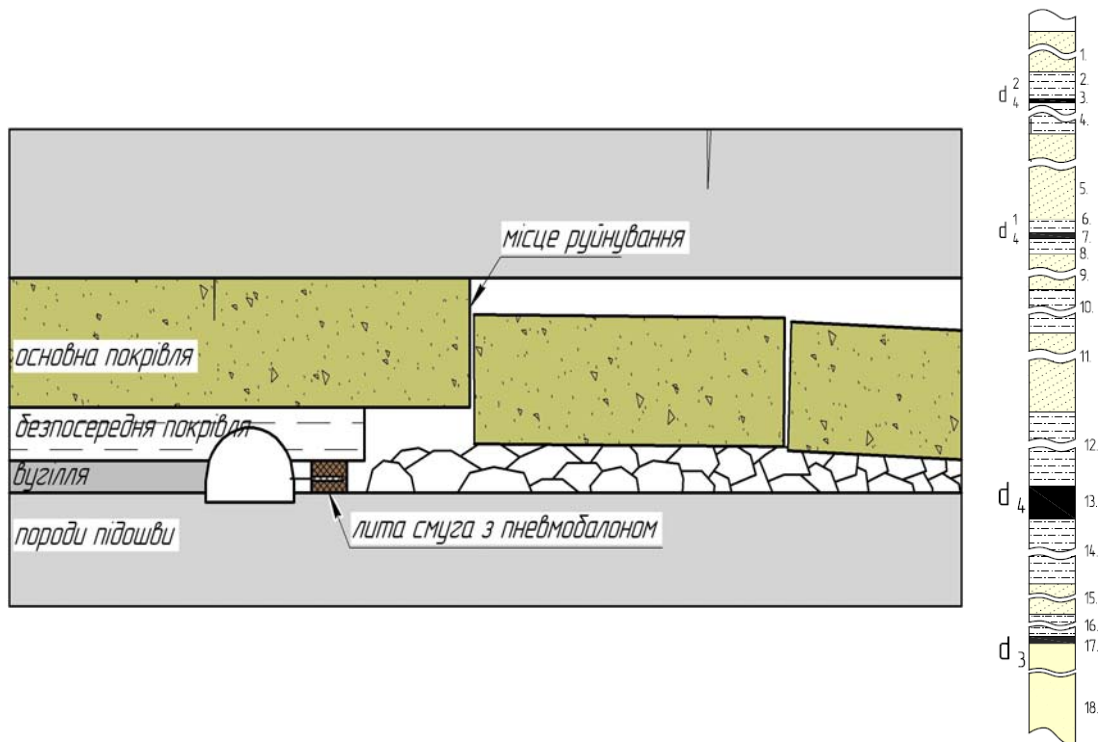


Рисунок 5.2 – Принципова схема моделі і структурна колонка

Таблиця 5.1 – Характеристика порід

№ п.п.	Нормальна потужність, м	Опис вміщуючих порід	За даними розвідки							
			Вологість первинна %	Щільність, т/м ³		Пористість, %	Межа міцності, Па 10 ⁵			Коеф-ієнт пористості
				видима	дійсна		на стиск		на розрив	
							в природному стані	після водонасищ.		
1.	3.95-8.55	Пісковик – дрібнозернистий, кварцовий, слюдяний, на глинистому цементі, сірого кольору, тріщинуватий, тріщини різного орієнтування (10-15 т. на 1 п.м). Контакт з нижнім шаром виразний, зчеплення між шарами слабе. міцний	181-255	2.42-2.50	2.72-2.75	8.46-12.0	527-1058	440-853	52-88	-
2	0.80 – 1.28	Алевроліт – темно-сірий, слюдяний, з тонкої и грубої, горизонтальної и хвилястої шаруватістю за рахунок прошарків пісковика мілкозернистого, с відбитками вуглефікованої флори. Контакт видимий, зчеплення в контакті слабе.	108-150	2.56-2.58	2.8	-	428	358	-	0.91
3.	0.32-0.44	Вугілля d ₄ ² – чорне, напівблискуче, сильнозабруднене сланцем, рихлим.	-	1.29	1.35	-	100-150	-	-	-
4.	0.00 – 1.10	Алевроліт – темно-сірий, слюдяний, з тонкої и грубої, горизонтальної і хвилястої шаруватістю за рахунок прошарків пісковика дрібнозернистого, з відбитками вуглефікованої флори. Контакт видимий, зчеплення в контакті слабе.	108-150	2.56-2.58	2.8	-	428	358	-	0.91
5.	4.30-7.00	Пісковик – дрібнозернистий, кварцевий, слюдяний, на глинистому цементі, сірого кольору, тріщинуватий, тріщини різної орієнтації (10-15 т. на 1 п.м). Контакт з нижчезташованим шаром чіткий, зчеплення між шарами слабе. Міцний	181-255	2.42-2.50	2.72-2.75	8.46-12.0	527-1058	440-853	52-88	-
6.	0.00 – 1.15	Алевроліт – темно-сірий, слюдяний, з тонкою і грубою, горизонтальною і хвилястою шаруватістю за рахунок прошарків пісковика дрібнозернистого, з відбитками вуглефікованої флори. Контакт видимий, зчеплення в контакті слабе.	108-150	2.56-2.58	2.8	-	428	358	-	0.91

Продовження табл. 5.1

7.	0.28-0.40	Вугілля d ₄ ¹ – чорний, напідлискучий, сильнозабруднений сланцем, рихлий.	-	129	135	-	100-150	-	-	-
8.	0.00 – 1.70	Алевроліт – темно-сірий, слюдистий, с тонкої и грубої, горизонтальної и хвилястої шаруватістю за рахунок прошарків пісковики дрібнозернистого, з відбитками вуглефікованої флори. Контакт видимий, зчеплення в контакті слабе.	108-150	256-258	2.8	-	428	358	-	0.91
9.	0.00-12.70	Пісковики – дрібнозернисті, кварцеві, слюдисті, на глинистому цементі, сірого кольору, тріщинуваті, тріщини різної орієнтації (10-15 м. на 1 п.м). Контакт з нижчезатощованим шаром чіткий, зчеплення між шарами слабе. Міцний	181-255	2.42-2.50	2.72-2.75	8.46-12.0	527-1058	440-853	52-88	-
10.	1.10-2.30	Алевроліт – нешаруватий, слюдистий, темно-сірий, з незначним вмістом вуглефікованих рослинних відбитків і після 0,20м с надлишком, тріщини с плоскостями притирання під кутом 35 (8-15мр. на 1 п.м.) На площинах видна вертикальна підвіжка. Міцність середня. Зчеплення в шарі середнє, місцями слабе.	?	108-151	2.65	2.8	5.36	423-704	167-358	35-67 0.91
11.	1.20-13.25	Пісковики – дрібнозернисті, кварцеві, слюдисті, на глинистому цементі, сірого кольору, інтервалами горизонтально- и хвилястий за рахунок слюди-воглистого матеріалу, рідше мілких лінзочек і одиничного прошарка сланця піщаного, плитчастий товщина плиток до 1 см, стінки нерівні, шереховаті, тріщинуваті, тріщини різної орієнтації (15-20 м на 1 п.м). По шару рідко зустрічаються дрібні лінзочки сідерита. В кінці шару 1,5м пісковики нешаруваті. Контакт з нижчезатощованим шаром видимий, чіткий, зчеплення між шарами слабе. Міцний	181-255	2.42-2.50	2.72-2.75	8.46-12.0	527-1058	440-853	52-88	-
12.	1.10-3.30	Алевроліт – нешаруватий, слюдистий, темно-сірий, з незначним вмістом вуглефікованих рослинних залишків і після 0,20м с надлишком, тріщини с плоскостями притирання під кутом 35 (8-15мр. на 1 п.м.) На площинах видна вертикальна підвіжка. Міцність середня. Зчеплення в шарі середнє, місцями слабе.	?	108-151	2.65	2.8	5.36	423-704	167-358	35-67 0.91

Продовження табл. 5.1

13.	0.96-2.32	Вугілля d ₄ – чорне, напівдискучне, тонкополосчасте, злам нерівний, середньої міцності, простої і складної будови	120-2.70	129	134	-	100-150	-	-	-
14.	0.90-1.55	Алевроліт – нешаруватий, з відбитками вузлефікованих стігмарій, середньої міцності. Контакт видимий чіткий, зчеплення з нижчерозташованим шаром середнє.	108-1.51	2.56-2.58	-	5.36	115-525	61-509	57	-
15.	0.00 – 0.30	Пісковики – дрібнозернисті, кварцеві, слюдісті на глинистому цементі, сірого кольору, горизонтально – і хвилястошаруватий за різниці слюдісто-вузлистого матеріалу. Контакт видимий, чіткий зчеплення з нижчерозташованим шаром середнє. Міцний	180-2.55	2.40-2.50	2.70-2.72	8.60-11.0	690-845	520-680	-	-
16.	1.35-10.90	Алевроліт – нешаруватий, з відбитками вузлефікованих стігмарій, середньої міцності. Контакт видимий чіткий, зчеплення з нижчерозташованим шаром середнє.	108-1.51	2.56-2.58	-	5.36	345-510	61-509	57	-
17.	0.20-0.78	Вугілля d ₃ – чорне, напівдискучне, тонкополосчасте, злам нерівний, середньої міцності, простої і складної будови .	120-2.70	129	134	-	100-150	-	-	-
18.	0.0 – 9.60	Пісковики – дрібнозернисті, кварцеві, слюдісті на глинистому цементі, сірого кольору, горизонтально – і хвилястошаруватий за різниці слюдісто-вузлистого матеріалу. Контакт видимий, чіткий зчеплення з нижчерозташованим шаром середнє. Міцний	180-2.55	2.40-2.50	2.70-2.72	8.60-11.0	-	-	-	-

Відповідно до описаної структури кожного шару задавалися модуль деформації, коефіцієнт Пуассона, внутрішній кут тертя, коефіцієнт зчеплення, кут дилатансії.

Розмір розрахункової моделі: довжина $\times$ ширина $\times$ висота = 256 м $\times$ 145 м $\times$ 10 м. Навантаження на верхню межу моделі розраховується за гіпотезою Дінніка. Нижня межа закріплена вертикально. Ліва і права межі зафіксовані горизонтально. Моделювався штрек арочного перетину. Габаритні розміри гірничої виробки - ширина $\times$ висота = 5 м $\times$ 3,5 м. Несучу здатність арки - 600 кН і моделювали розподіленням відскоком по площі даху та боків.

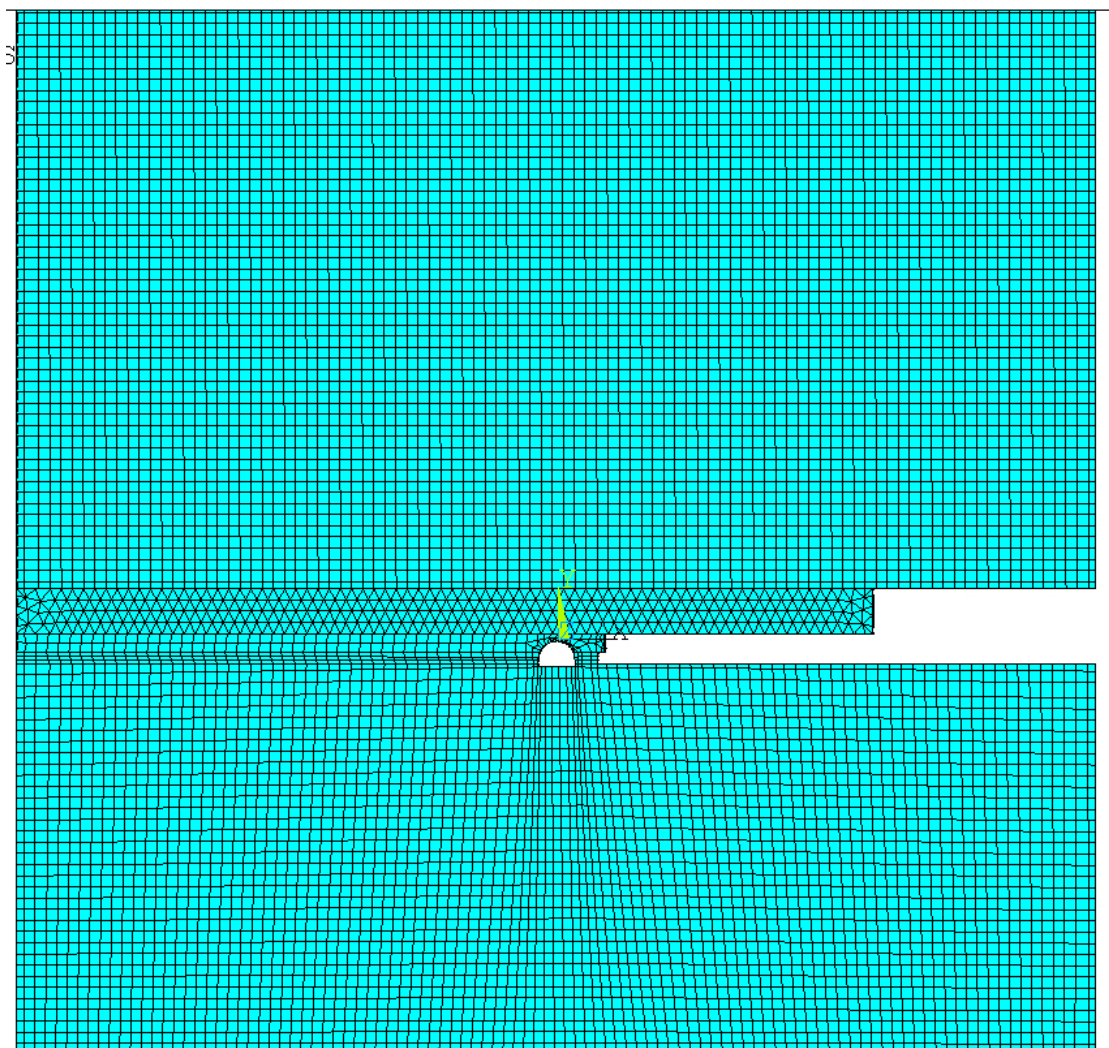


Рисунок 5.3 – Кінцвоелементна модель в A n s y s

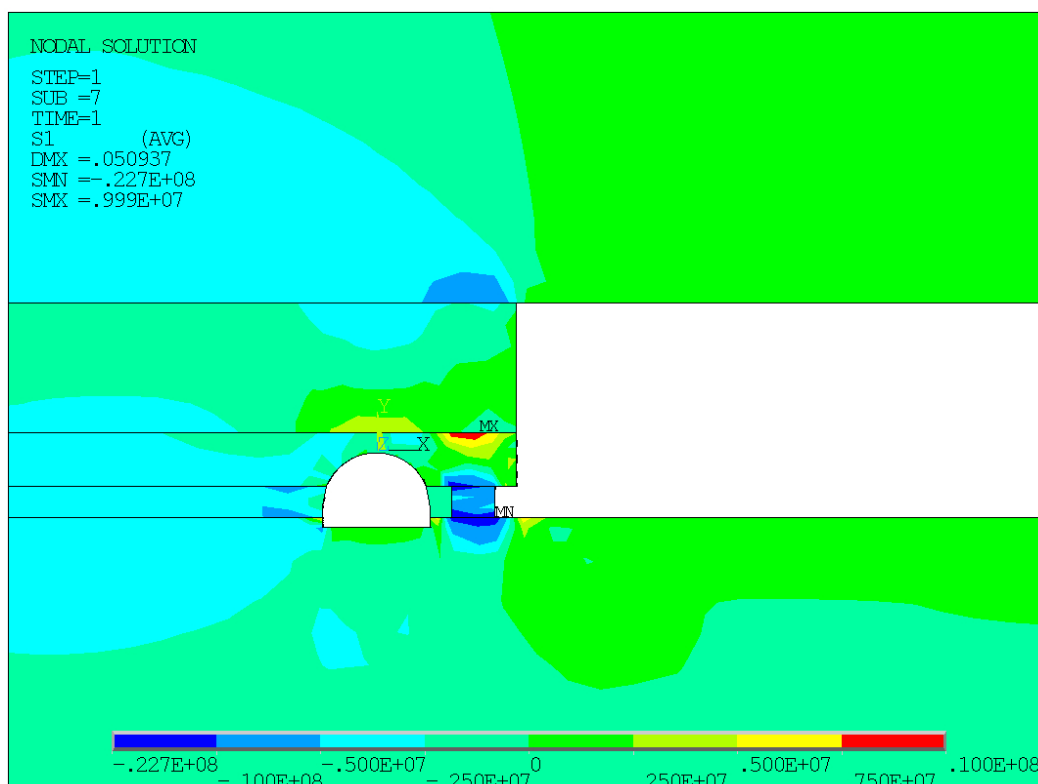
Властивості двох варіантів литої смуги були різними, відповідно до досліджень наведених в попередньому розділі магістерської роботи. В

першому варіанті матеріалом литої смуги було Бі-кріплення, в другому варіанті – бетон з наповнювачем з подрібненої породи. Модуль пружності для «Бі-кріплення» був прийнятий від $29,1 \pm 4,0$ ГПа до $36,1 \pm 3,4$ ГПа, для бетону з додаванням породи $5 \pm 1,20$ ГПа, коефіцієнт Пуассона 0,25 і 0,22 відповідно.

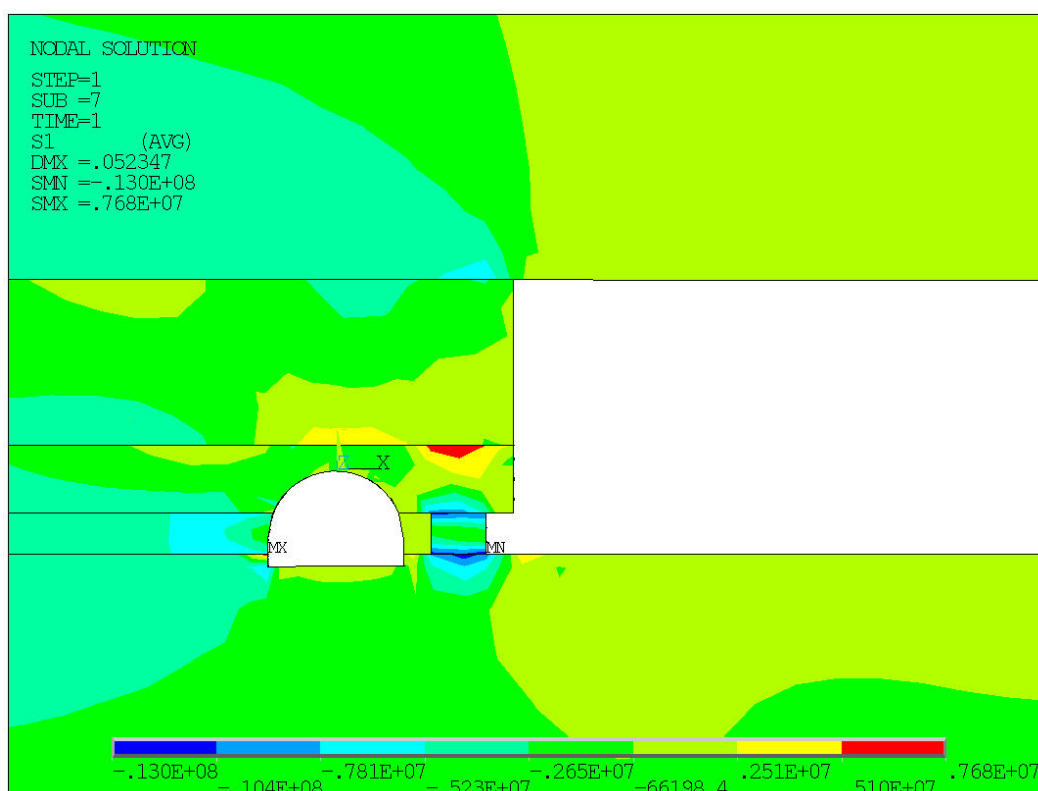
Результати моделювання наведено на рис. 5.4-5.6. На цих рисунках представлені ізополя розподілу максимальних головних напружень S_1 при різних довжинах консолі основної покрівлі, що щависає у виробленому просторі. На схемах видно зміну положення концентрованих зон напружень навколо виробки.

Рисунок 5.4 симулює ситуацію, що виникає після обвалення основної покрівлі. Цьому випадку напруження навколо виробки є мінімальними, що є цілком зрозуміло. Опорний тиск від зависання консолі є мінімальним. Зона максимальних напружень над охоронною полоскою позначена червоним кольором. Видно, що і при охороні Бі-кріпленням, і при охороні удосконаленою литою смугою розподіл напружень майже не відрізняється. Місце зосередження максимальних напружень (червона зона на рисунку) однаково розташовано відносно елементів виробки.

Рисунок 5.5 симулює ситуацію, що виникає при довжині консолі основної покрівлі з боку виробленого простору 12,5 м. В цьому випадку рівень напружень навколо виробки вище, ніж в попередньому варіанті. При цьому видно, що зони максимальних напружень розміщуються в просторі по-різному при охороні Бі-кріпленням і запропонованою литою смугою. Сірим кольором виділені області, в яких напруги, що виникають, перевищують межу міцності порід на розтягування. Якщо при охороні за шахтним варіантом такі максимальні напруження зосереджені над литою смугою, то при охороні запропонованим способом, така хона має два максимуми. Один розташований з боку пласта, другий над литою смугою. Тобто може бути теоретично руйнування основної покрівлі як над литою смугою, так і з боку пласта.



а)



б)

Рисунок 5.4 – Розподіл головних напружень в моделі при довжині консолі 6,5м а) шахтний варіант, б) запропонований варіант

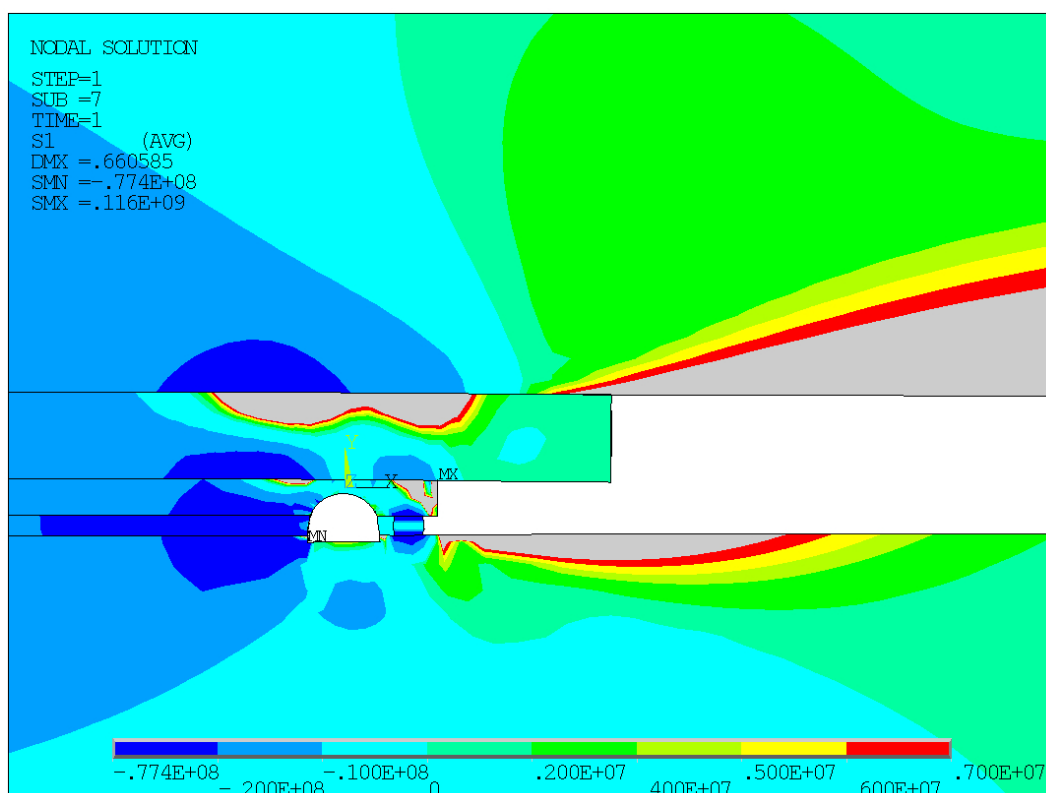
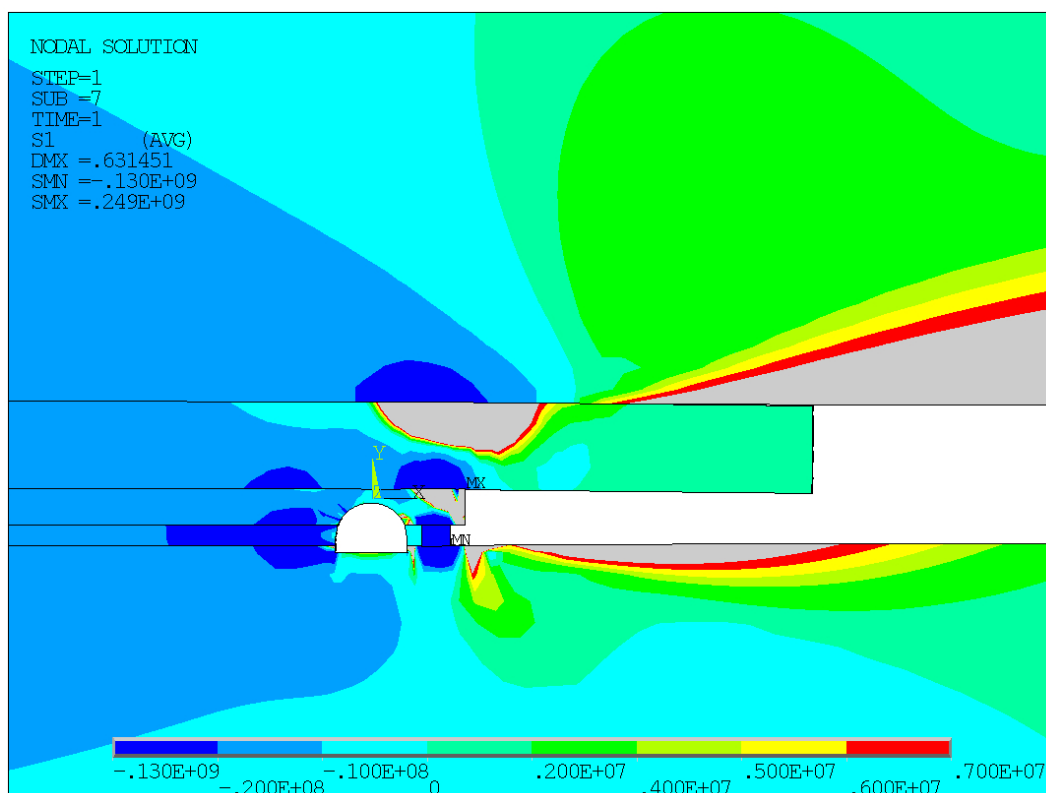
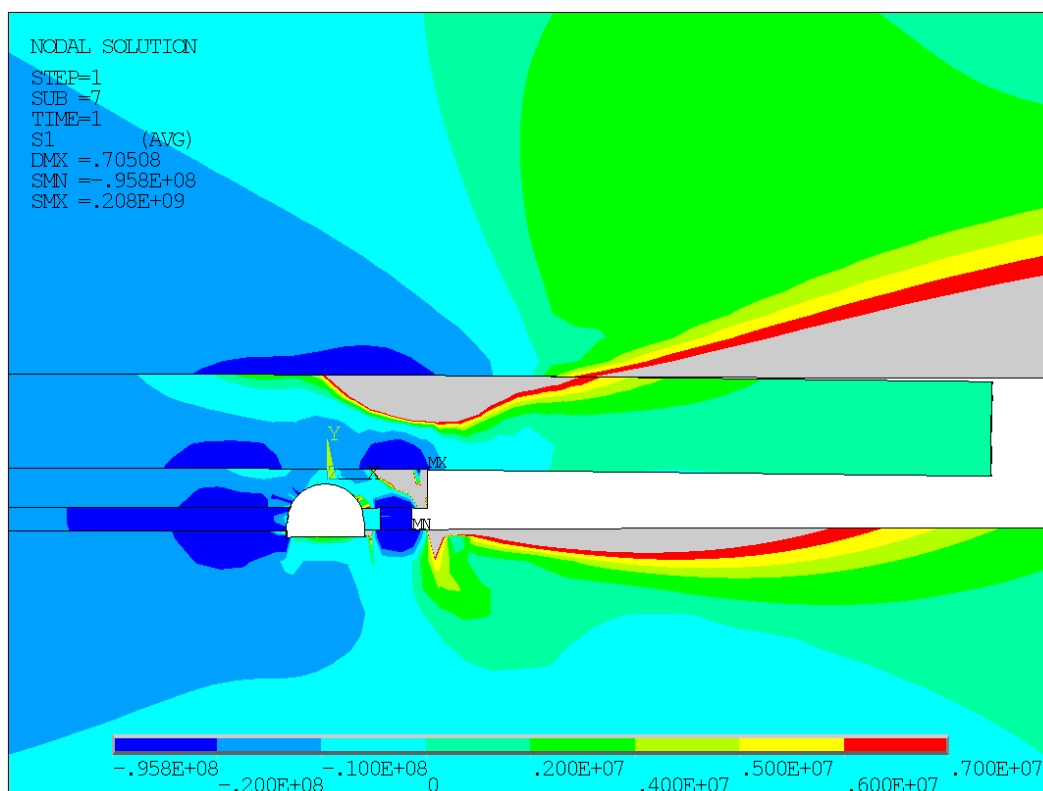
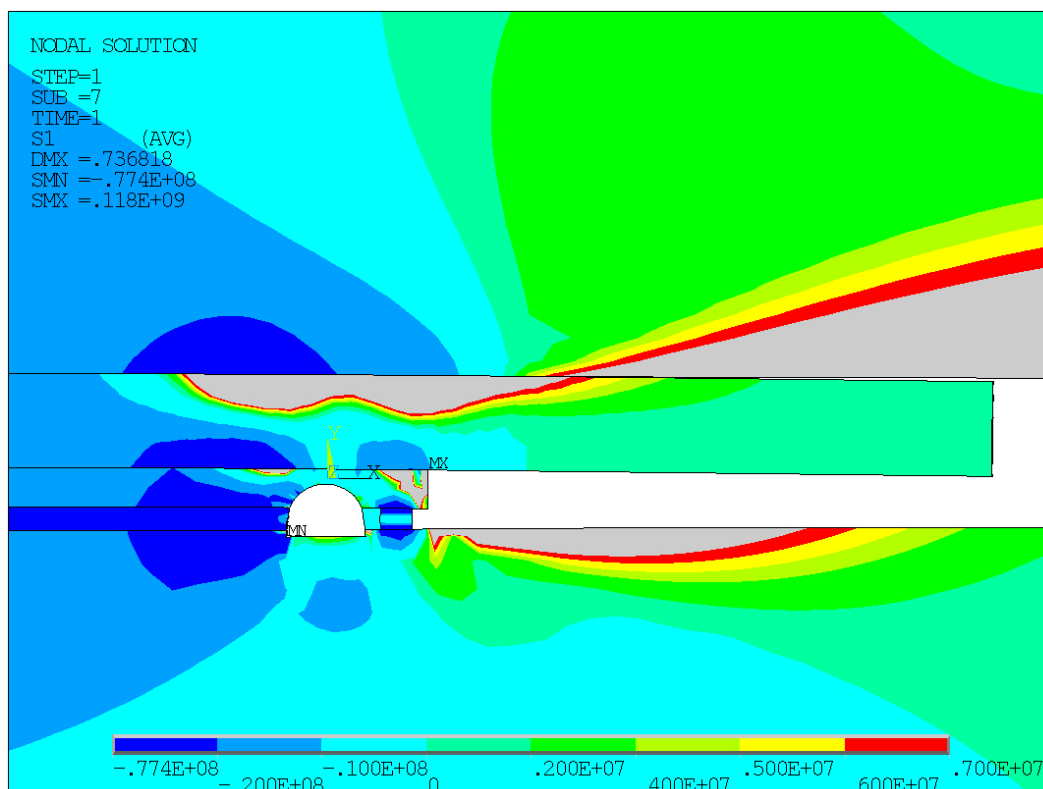


Рисунок 5.5 – Розподіл головних напружень в моделі при довжині консолі 12,5м а) шахтний варіант, б) запропонований варіант



a)



б)

Рисунок 5.6 – Розподіл головних напружень в моделі при довжині консолі 18,5м а) шахтний варіант, б) запропонований варіант

Аналогічною є картина розподілу напружень при збільшенні довжини консолі основної кровлі до 18,5м (рисунок 5.6). Як і попередньому випадку зони в яких напруження перевищують межу міцності порід позначені сірим кольором, тобто, це фактично області руйнування порід.

Таким чином при литій смузі з Бі-кріплення геомеханічна ситуація більш приваблива, оскільки покрівля з високою долею вірогідності буде обрізатись литою смугою, що сприяє зниженню навантажень на виробку і утворенню геомеханічної ситуації, схожої до наведених на рис. 5.4. Тобто дуже сприятливих умов для повторного використання виробок (рис. 5.7 б).

При руйнування порід основної покрівлі з боку пласта, стан виробки з великою долею вірогідності буде незадовільний, оскільки маса порід основної покрівлі буде навантажувати при контурні породи над виробкою, що значно ускладнить можливості для повторного використання (рис. 5.7 а).

Фактично отримані результати моделювання означають, що при одних і тих самих умовах при однаковій схемі кріплення і системі підтримання конвеєрний штреків в умовах ПРАТ ш/у Покровське режим роботи литої смуги визначає величину навантаження виробки. Цей факт відомий з досвіду роботи підприємства, але його не пов'язували з місцем руйнування основної покрівлі.

Однак з рисунків 5.5 5.6 також видно, що при різних способах охорони самі ці способи навантажуються по-різному. Більш жорстка лимта смуга з Бі-кріплення хоч і формує критичні напруження в сприятливому місці, однак і сама має витримувати великі навантаження і деформації. Це також зазначено на схемах, що пояснюють процес руйнування порід навколо виробки, що наведені на рис. 5.7.

Таким чином проведений аналіз вказує, що запропонований спосіб охорони штреків для повторного використання буд ефективний тільки в тому випадку, коли забезпечить руйнування основної покрівлі над смугою.

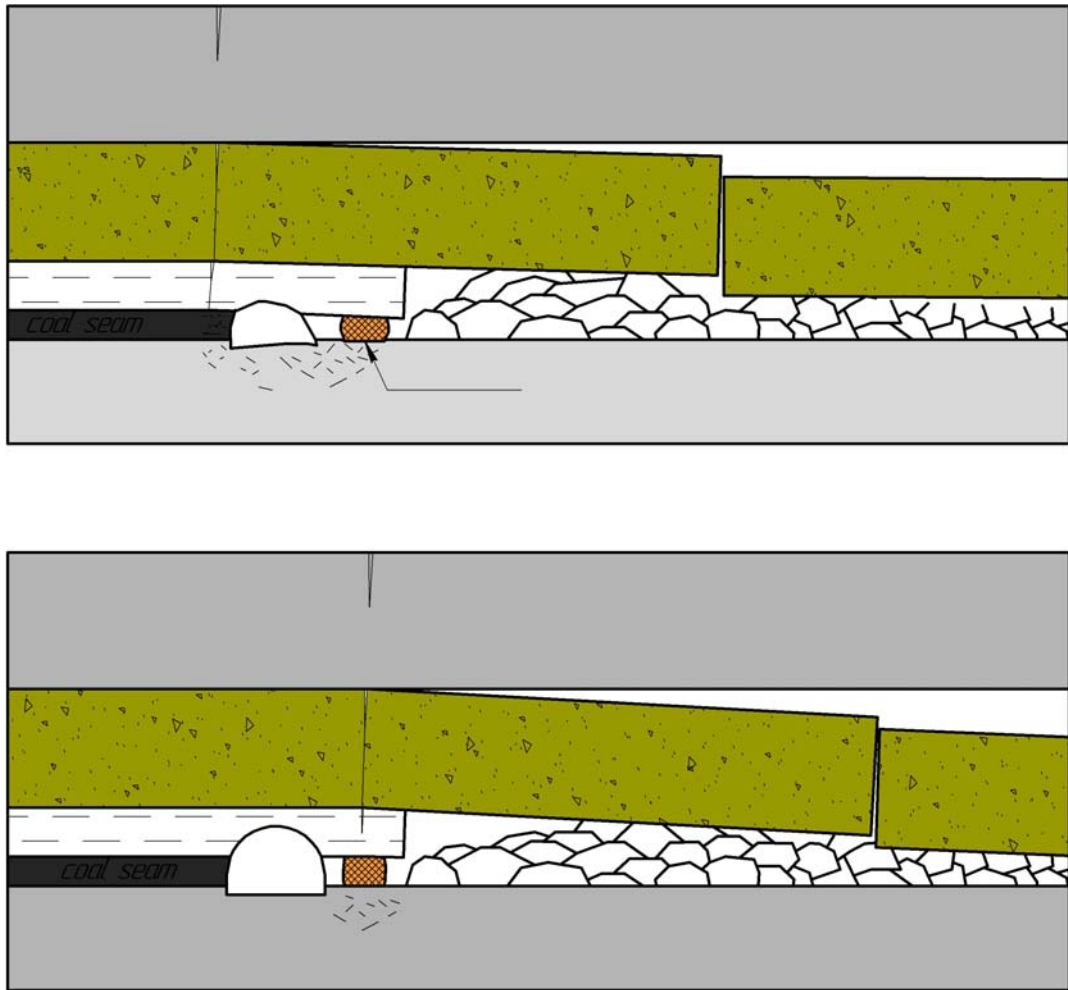


Рисунок 5.7 Схеми навантаження порід при різних місцях руйнування порід основної покрівлі а) руйнування основної покрівлі з боку пласта б) руйнування основної покрівлі над виробленим простором

Для визначення місця руйнування порід основної покрівлі треба проаналізувати напруження, що виникають в найбільш небезпечному місці з точку зору руйнування, тобто по лінії проведеній в верхній частині основної покрівлі.

Схема, на якій зображено лінію зчитування інформації про напружено-деформований стан кінцееlementної моделі, наведена на рис. 5.8. Лінія по якій формується дата-файл позначена розрізом А-А. Інформація з дата-файла імпортувалась в Excel. Після цього були побудовані графіки впливу типу литої смуг на напруження.

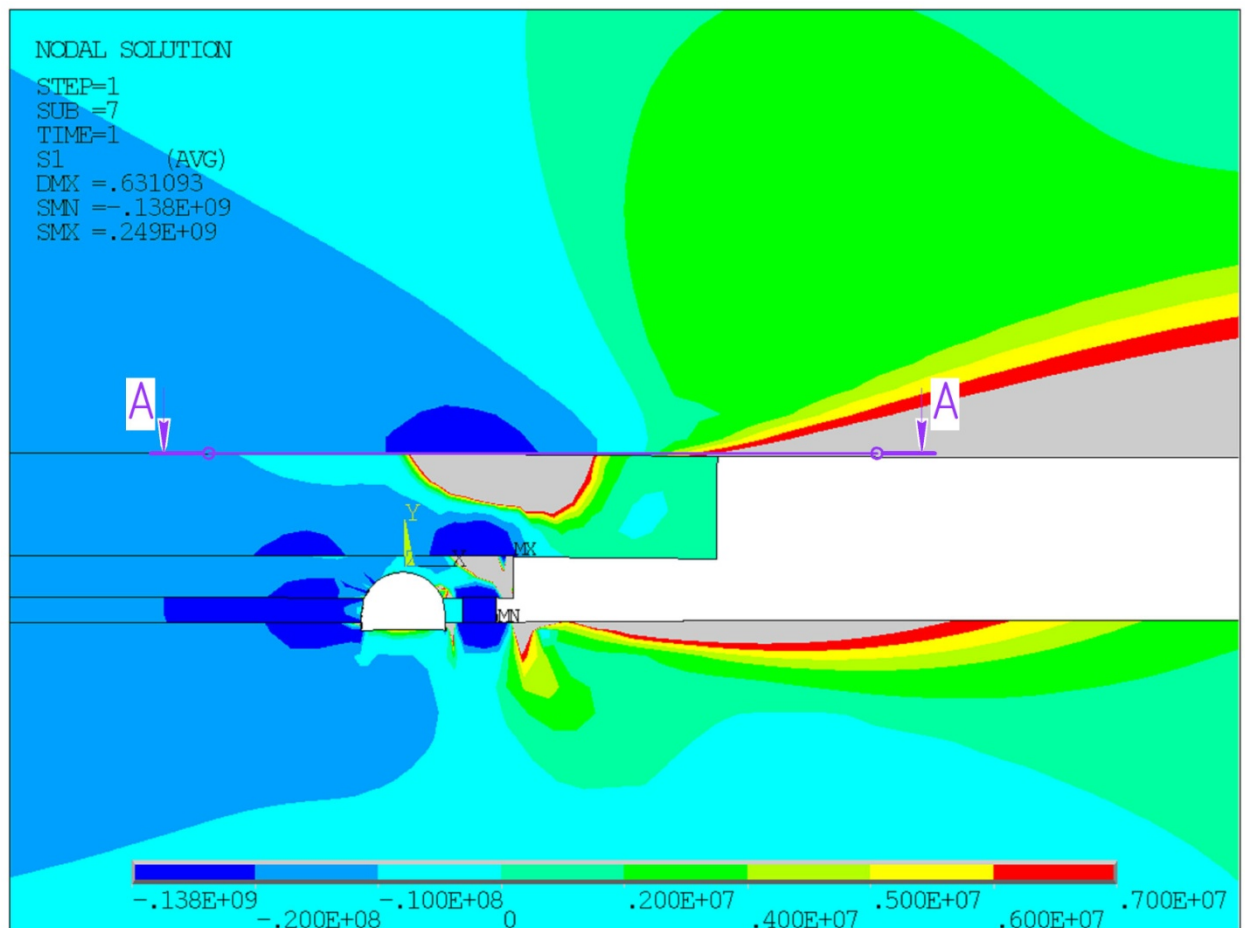


Рисунок 5.8 – Схема моделі з зазначеною лінією зчитування напружень (A-A)

Для кількісної оцінки впливу типу литої смуг і довжини консолі основної покрівлі на місце утворення області максимальних напруг в основній покрівлі і, відповідно, ймовірне місце руйнувань покрівлі, були проаналізовані напруги, що формуються у верхній частині основної. Графіки таких напружень наведені на рис. 5.9. Початок координат на графіках відповідає центру склепіння виробки.

На рисунку 5,9 а наведено графіки зміни максимальних напружень при охороні виробки литою смугою з Бі-кріплення. Аналіз графіків вказує на те, що збільшення довжини основної покрівлі призводить до росту напружень в основній покрівлі.

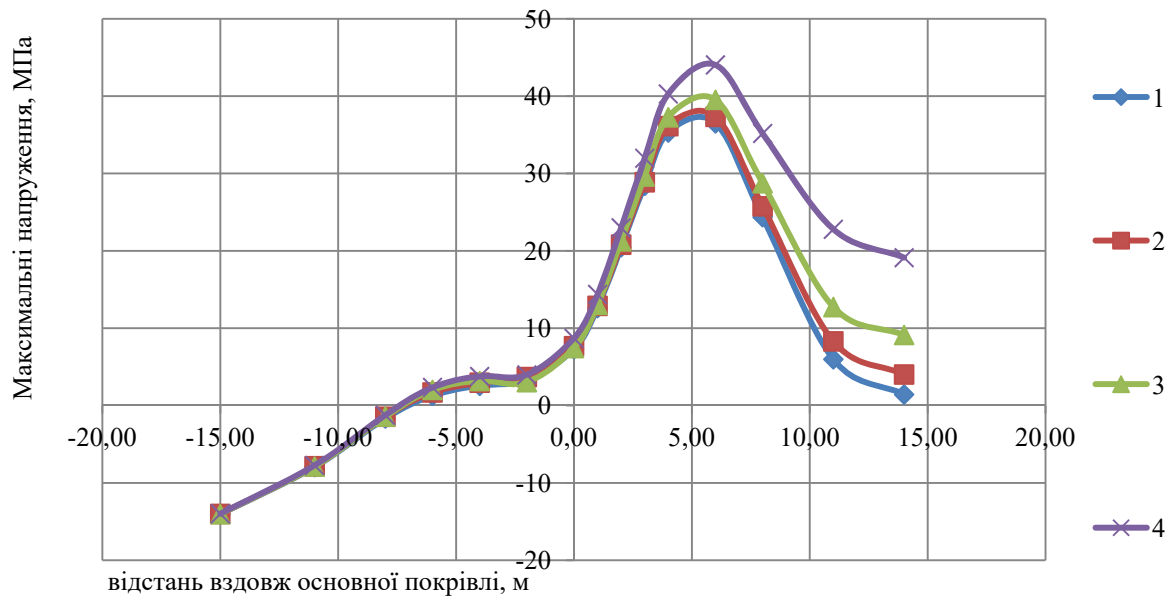
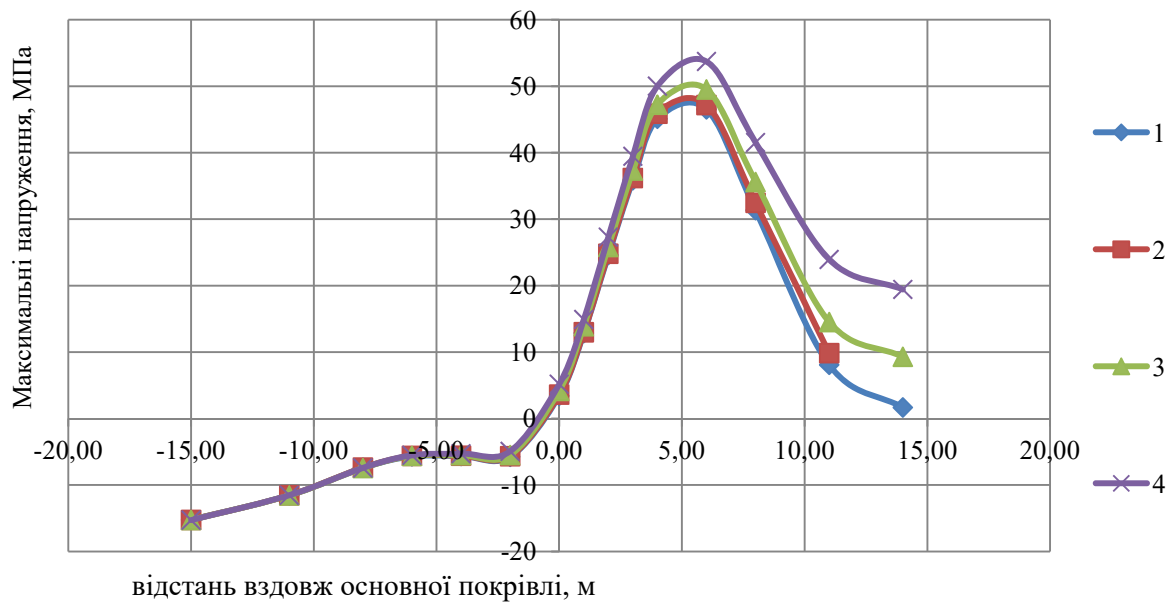


Рисунок 5.9 Графіки розподілу максимальних головних напружень в основній покрівлі при запропонованій литій смузі при шахтному варіанті литої смуги з Бі-кріплення (а) і з додаванням породи (б) при довжині консолі основної покрівлі 1 – 18.5м, 2 – 30.5, 3 – 42.5, 4 – 57.5м

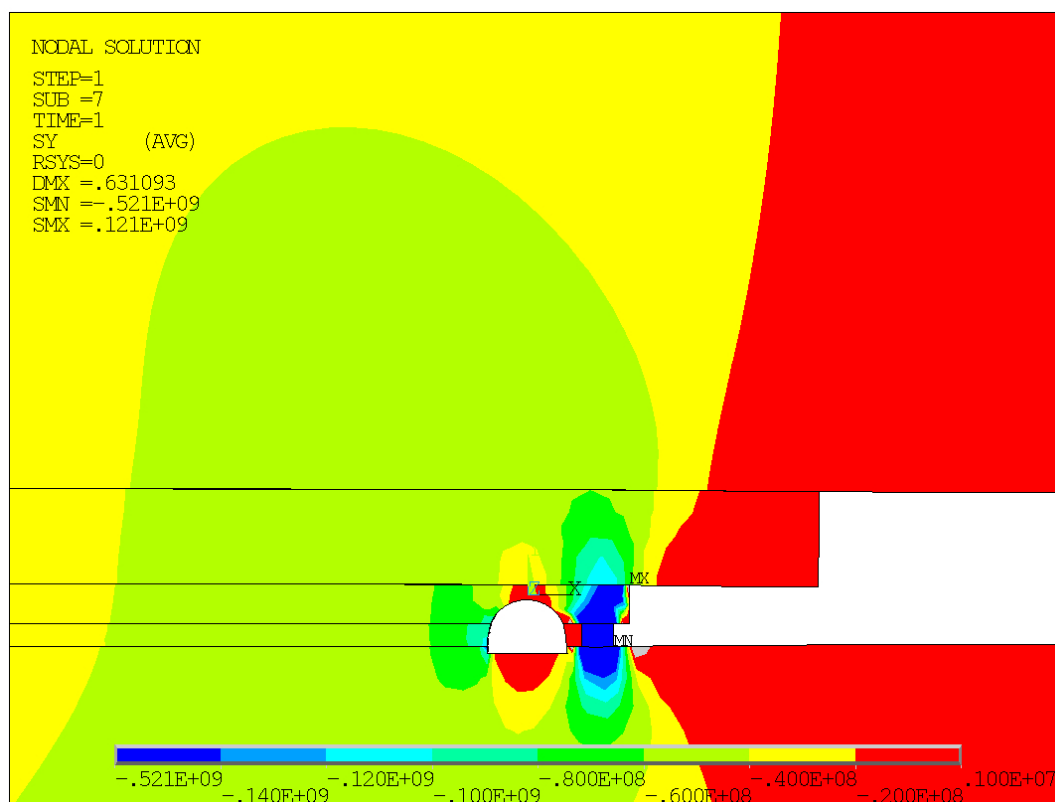
При цьому, якщо порівнювати величини напружень справа і зліва від осі ординат (рис. 5.9 а)(ось ординат відповідає осі виробки), то стає очевидним, що напруження над охоронною смугою значно більше тих, що

виникають над пластом. Тобто очевидно, що руйнування основної покрівлі будуть з великою долею вірогідності над охоронною смугою.

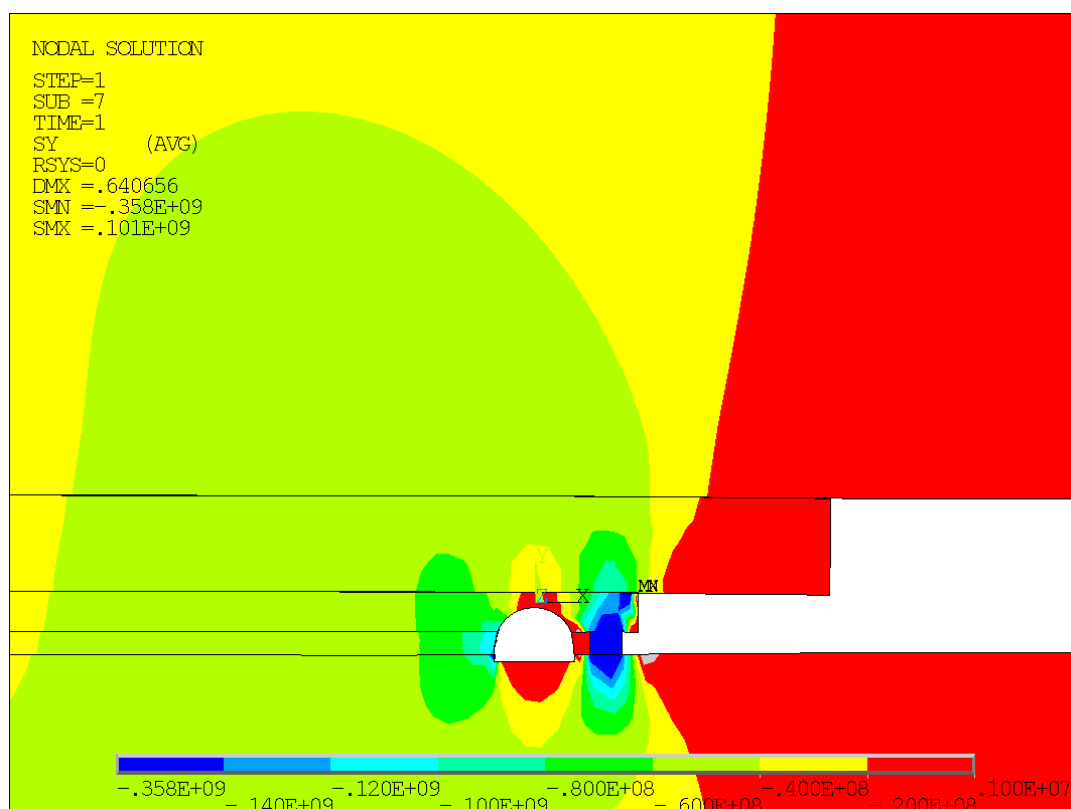
Аналіз рисунка 5.9 б вказує на те, що при використанні запропонованого варіанта литої смуги з додаванням пустої породи, величина максимальних напружень значно менше, ніж у випадку з базовим шахтним варіантом литої смуги. Так при довжині консолі 42 м в шахтному варіанті максимальні напруження становлять 50 МПа, а в запропонованому варіанті – 40 МПа. Однак, як і в варіанті з литою смугою, з Бі-кріпленням напруження в правій частині (над литою смугою) перевищують напруження зліва, тобто над пластом. Таким чином можна дійти висновку, що руйнування основної покрівлі з великою долею вірогідності також відбудуться над охоронною смугою.

Таким чином, можна стверджувати, що пропозиція з удосконалення конструкції литої смуги є доцільною з точки зору геомеханічної ситуації навколо штреку.

Для остаточного висновку щодо ефективності такого способу треба проаналізувати напруження, що витримують литі смуги в першому варіанті, щоб виключити можливість їх руйнування. Литі смуги навантажуються вертикальними нагрузками, тому доцільно аналізувати вертикальні напруження в моделі. В нашій геометричній постановці, це напруження ОУ. Ізополя вертикальних напружень в моделі скінчених елементів при різних конструкціях охоронної смуги наведені на рис. 5.10. З рисунків видно, що максимальні стискаючі напруження моделі в шахтному варіанті становлять 521 МПа (це видно з шкали напружень в нижній частині рисунка), а максимальні напруження в запропонованому варіанті становлять 358 МПа. Тобто майже на 80% менше ніж в варіанті охорои литими смугами. Проте такий аналіз не дозволяє отримати інформацію про напруження саме в литій смузі, а дає інформацію лише про максимальне значення і діапазон. Для аналізу вертикальних напружень в литій смузі побудуємо графіки по верхній межі литої смуги.



a)



б)

Рисунок 5.10 – Розподіл вертикальних напружень в моделі при охороні за шахтним варіантом (а) і запропонованим варіантом (б)

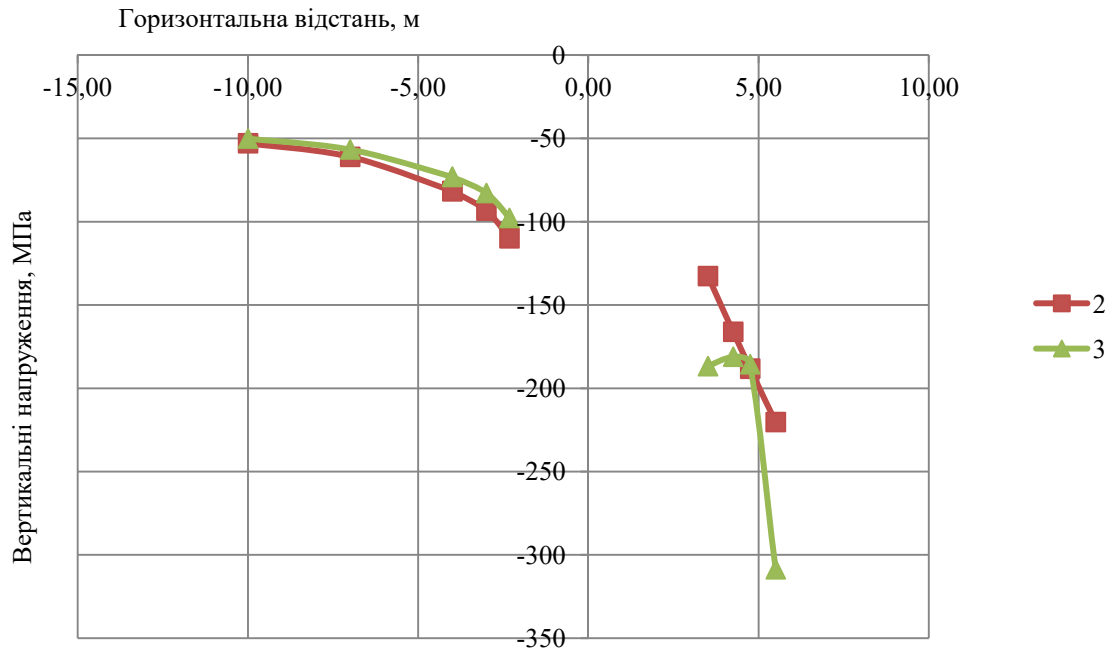
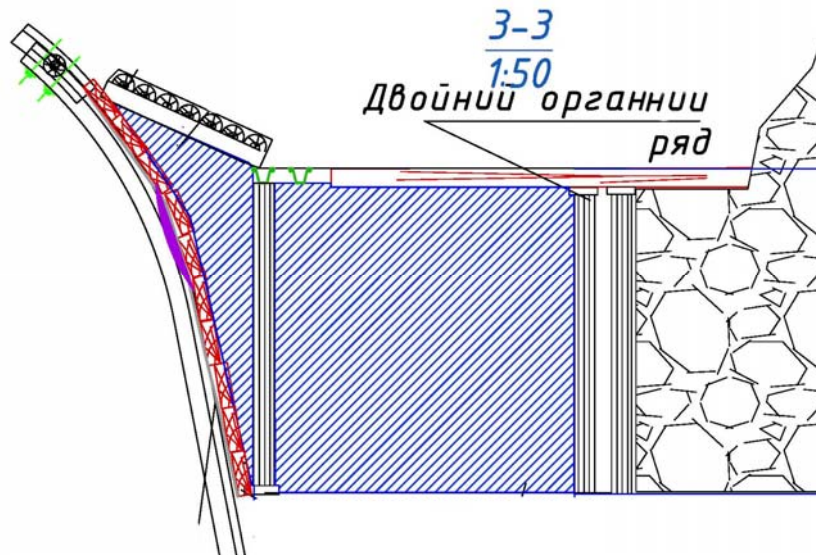


Рисунок 5.11 Графіки вертикальних напружень на литій смузі і вугільному пласті при шахтному варіанті литої смуги з Бі-кріплення (3) і з додаванням породи (2) при довжині консолі основної покрівлі 18.5м

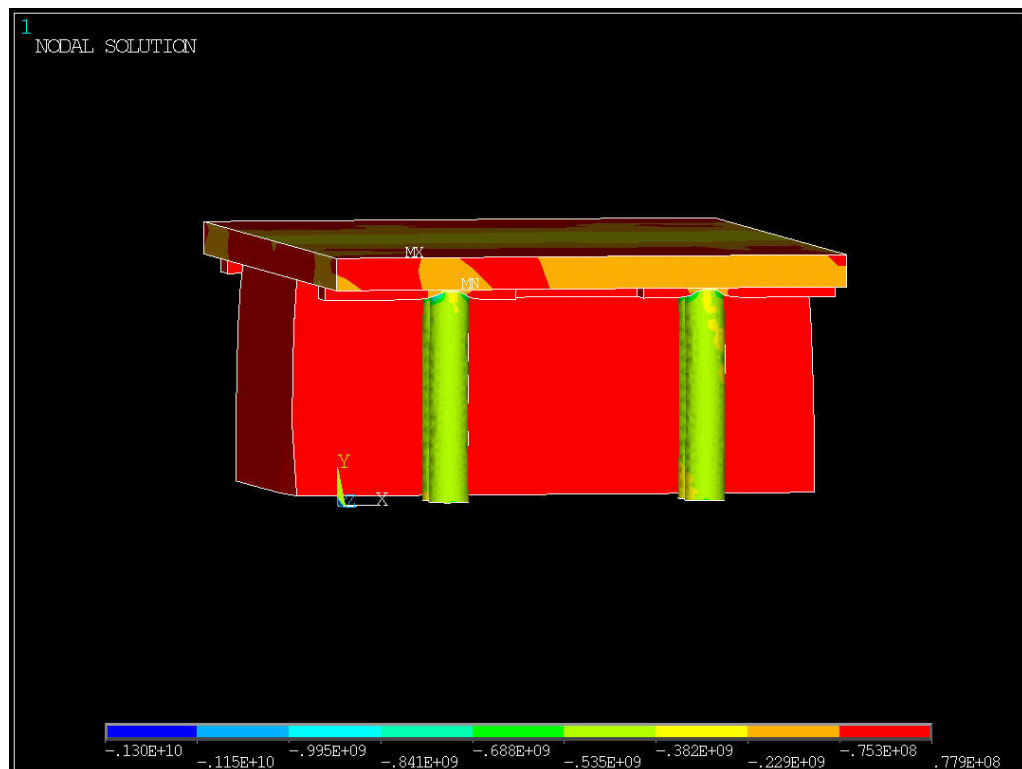
Як і в попередніх графіках вертикально ось на графіках співпадає з оссю виробки. Тобто частина графіка зліва від осі характеризує напруження на поверхні пласта вугілля, а напруження справа – напруження на поверхні литої смуги.

З рисунка 5.11 видно, що навантаження на полосу значно вище, ніж на пласт. Проте і несуча здатність литої смуги вище. Напруження в більш жорсткій литій смузі (лінія 3 на графіку) знаходяться в діапазоні 180-320МПа. В той же час напруження в литій смузі, що запропонована в роботі становить 130-225 МПа. При цьому вертикальні навантаження з боку виробленого простору значно більше. Спостерігається загальний ріст вертикальних напружень в смузі в напрямку від виробки до виробленого простору. При цьому доцільно відмітити той факт, що вертикальні напруження в литій смузі і в шахтному і запропонованому варіанті перевищують межу міцності на стиск матеріала смуги, що може

сигналізувати про руйнування смуги. Проте в реальних умовах в склад охоронної смуги разом з самою смугою входять також стійки органного кріплення, що оконтурюють смугу (рис. 5 12а), тому при розрахунку смуги в моделі також слід враховувати наявність цих стійок.



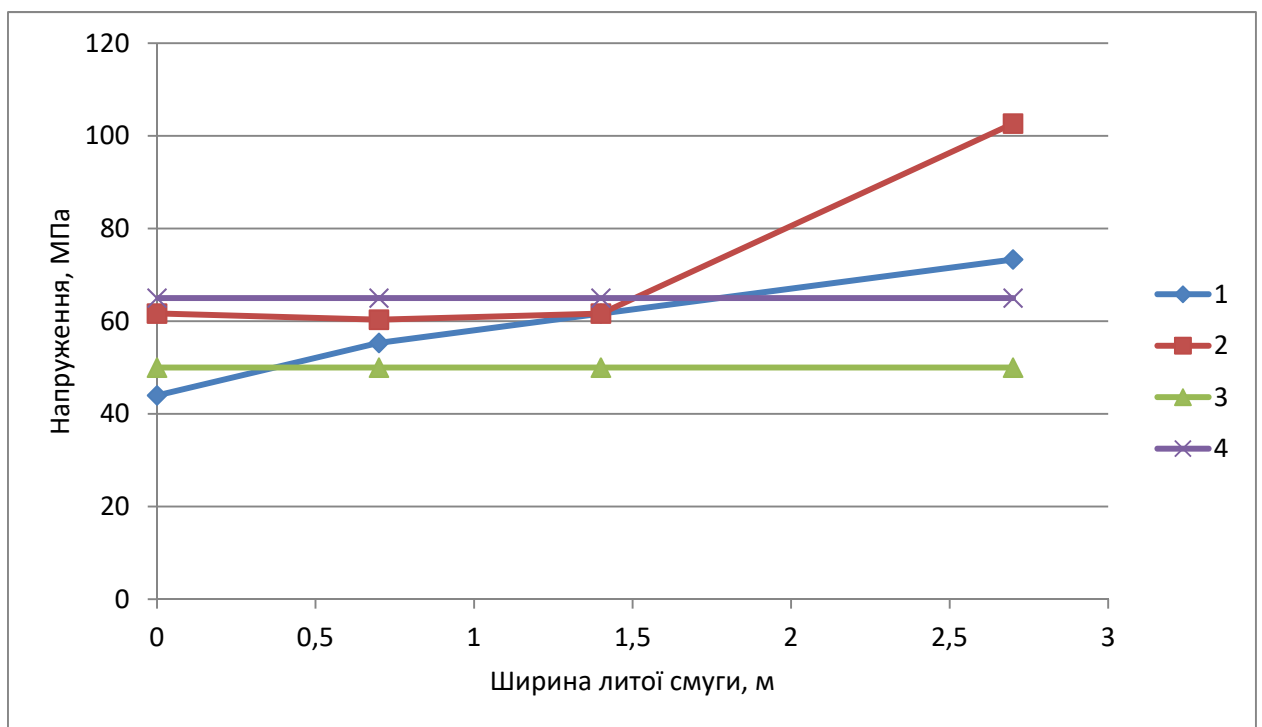
а)



б)

Рисунок 5.12 – Конструкція охоронної конструкції литої смуги з стійками в паспорті (а) і в моделі (б)

Врахувати стійки в великій моделі прямим методом моделювання неможливо, через те, що модель матиме дуже велику масштабну різницю по кінцевим елементам, що робить рішення вкрай довгим і неможливим для розрахунку на звичайному персональному комп'ютері. Тому для дослідження було розроблено фрагментарну модель, що містить тільки литу смугу. І в цій моделі проведено дослідження несучої здатності (рис. 5 126).



1 – графік навантаження запропонованої литої смуги; 2 – графік навантаження литої смуги Бі-кріплення; 3 – режим неруйнівної роботи литої смуги; 4 – режим неруйнівної роботи охоронної смуги у складі литої смуги і органного кріплення

Рисунок 5.13 – Графіки одноосьового навантаження на литу смугу і відносні межі міцності литих смуг

Результати, представлені на рисунку 5.13 дозволяють проаналізувати співвідношення одноосьових навантажень на литу смугу різної конструкції і межі неруйнівної роботи охоронної конструкції. Аналіз графіків вказує на те, що у випадку використання шахтного варіанта литої смуги смуга з високою

долею вірогідності буде руйнуватися з боку виробленого простору. Одноосьові напруження перевищують межу міцності порід на ділянці по ширині смуги 1,6-2,7м. Запропонована смуга вірогідно буде руйнуватись на ділянці смуги 1,8-2,7 м. Таким чином робота смуг не відрізняється суттєво і можна дійти висновку про те, що запропоновані технологічні покращення не призведуть до втрати несучої здатності смуги і зміни геомеханічної обстановки навколо вирбоки. Таким чином доцільність такої пропозиції можна вважати доведеною.

6. ТЕХНОЛОГІЯ І ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБІТ ПО ОХОРОНІ ШТРЕКІВ ДЛЯ ЇХ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ

6.1 Технологія ведення робіт по спорудженню литої смуги

Для підтримки конвеєрного штреку охоронною смугою, виконуються наступні роботи (рис. 6.1):

- установка анкерного кріплення
- підбивка ґрунту попереду лави;
- зведення литої смуги;
- установка органного кріплення;
- підбивка ґрунту за лавою;
- установка кріплення посилення.

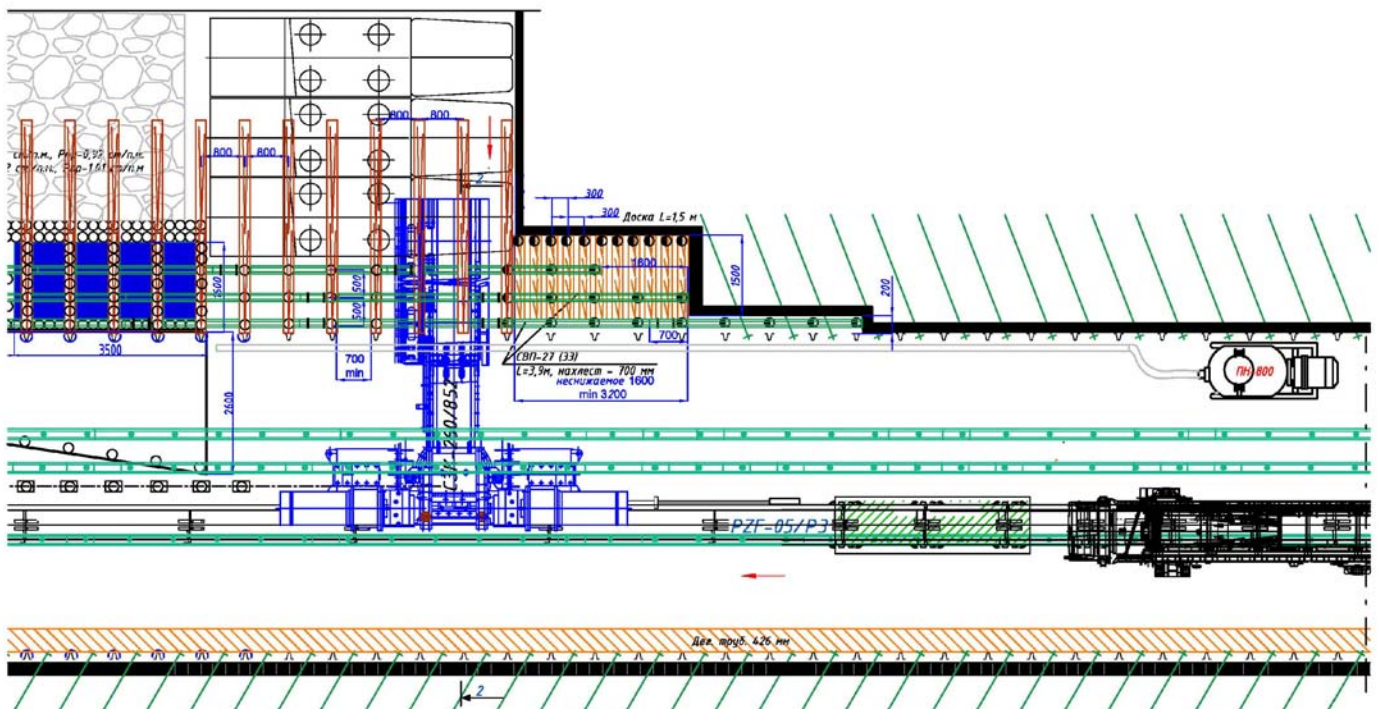


Рисунок 6.1 – Заливка литої смуги на нижньому сполученні лави машиною ПН-800

Для зведення литої смуги з використанням сухої цементно-мінеральної суміші заливальна машина повинна знаходитися на відстані не

більше 60 м від сполучення з лавою. Подача суміші проводиться по жорсткому трубопроводу 100 мм, змонтованому з відрізків труб завдовжки 2,5 м протяжністю 60 метрів.

Згідно з даними дослідного випробування термін до початку схоплювання складає 25-30 хвилин. Саме за цей час бригада зі зведення литої смуги повинна завантажити суміш у пневмонагнітач, перемішати її з водою і подати до місця заливання.

Якщо час виконання операцій із завантаження суміші в пневмонагнітач перемішування її з водою, і подачі суміші до місця заливки перевищує допустиму тривалість (25 - 30 хвилин), і суміш почала схоплюватися (застигати), необхідно негайно випустити суміш із заливальної машини та трубопроводу, що подає, і рукава потім промити резервуар, прочистити напірний трубопровід і напірний рукав від залишків розчину.

Безпосередньо в мішки для заливання, розчин подається по гнучкому напірному рукаві. Перед початком роботи в обов'язковому порядку необхідно перевірити закріплення напірного рукава у вихідного сопла апарата та на місці подачі в опалубку.

Напірний гнучкий рукав повинен бути встановлений у заливну горловину ємності не менше ніж на 0,9-1,0м, яку необхідно закріпити на рукаві металевим тросиком Ø2-3мм або смугами (підв'язками) з б/в вент. труби.

Для запобігання мимовільному зриву напірного рукава необхідно його додатково закріпити до елементів кріплення сполучення або виробки в 1,2-1,3 м від відкритого краю. Кріплення напірного рукава діаметром 94 мм проводиться за допомогою замкових з'єднань з подовженою скобою в кількості двох штук, з'єднаних між собою за допомогою болтових з'єднань М12*40. У замкове з'єднання з подовженою скобою вставляється з обох боків дві ланки ланцюга 18*64 мм і затискається за допомогою болтового з'єднання М12*40. Одна ланка ланцюга за допомогою скоби міжрамних зв'язків

кріпиться до найближчої стійки металокріплення з боку лави або до бруса (СВП) кріплення берми.

Для недопущення зламів напірного рукава необхідно додатково прив'язати його до елементів кріплення виробки в 2-3-х точках по довжині рукава через 1,0-1,5м. Спілкування між робітником, який керує заливальною машиною, та робітниками, які займаються зведенням литої смуги на сполученні, здійснюється по селекторному зв'язку.

До початку робіт зі зведення литої смуги проводять роботи з кріплення сполучення лави з підтримуваною виробкою згідно з паспортом.

На відстані 1,2 м (визначається виходячи з глибини литої смуги, що зводиться) від стійок рамного кріплення штреку встановлюється два ряди органного кріплення з дерев'яних стійок 18см. До крайніх стійок з боку виробки і в лаві прибиваються цвяхи, на які підвішуються за допомогою тримачів ємності (мішки), які наповнюють мінерально-цементною речовиною. З чотирьох сторін опалубна ємність, яка прибивається до дерев'яних стійок фіксується металевою сітчастою затяжкою, на яких кріпиться опалубна ємність.

Жорстка смуга зводиться розмірами по довжині лави 2,4 м, із застосуванням ємності розміром 2,7м*1,4м*0,9 м з отвором на висоті 0,8м, де m потужність пласта на сполученні. В цей отвір поміщується пневморукав. Ємності оснащені також отвором для відведення повітря. Розміри мішка відповідають розмірам вікна, що заливається, з 10% запасом на збільшення потужності пласта, тому встановлюється один мішок на одне вікно. Ємності прикріплюються таким чином, щоб наповнювальний та повітря відвідний отвір знаходилися в найвищому пункті по відношенню до підшви виробки.

До складу матеріалу для литої смуги входить суха цементно-мінеральна суміш та вода (співвідношення вода/тверда речовина повинна становити 0,2-0,21, на 1 мішок суміші вагою 25 кг – 5 літрів води).

Виходячи з розрахункових даних для приготування розчину на одну ємність заповнювану цементно-мінеральним сполучним необхідно 2100 кг

(84 мішки) сполучного та 420 л води. На сполучення, до місця ведення робіт зі зведення литої смуги доставляються ємності (мішки) з матеріалу, що отримав дозвіл на застосування у вугільних шахтах. У ємності за допомогою насосного агрегату ПН-800 нагнітається розчин із сухої мінеральної суміші та води.

Мішки з сухою сумішшю повинні складуватися в безпосередній близькості від змішувача з розрахунку 15 - 18 мішків на один заміс.

Всього на одну ємність:

мішків 84 шт. по 25 кг.

води – 420 л.

Усього на один метр:

мішків-104 шт. по 50 кг.

води – 420 л.

Після заповнення ємності для зведення литої смуги вікно між рамами кріплення відшивається дошкою та простір між литою смугою і дошкою забучується породою від піддривки підосви (дрібною фракції) і тампонується ізолюючим розчином. Патрубок пневморукава виводиться в виробку. Дошка та вироблений простір обмазуються до замків ізолюючим матеріалом. Усадки Після осідання матеріалу смуги в ході твердіння матеріалу суміші, пневморукав розпирається стиснутим повітрям, що подається з ставу, таким чином відновлюється контакт литої смуги з покрівлею.

Роботи з кріплення нижнього сполучення та зведення литої смуги виробляють робітники в кількості 3-х осіб (два на кріпленні сполучення і один на підносі мінерально-сполучного та подачі розчину в ємності).

У міру відходу лави відставання смуги повинне становити 4,8 - 6,4 м від забою.

Підготовка насосного агрегату та матеріалів до роботи.

Для підготовки насосного агрегату ПН-800 до роботи слід провести детальний огляд, перевірити матеріали та готовність до роботи:

- перевірити цілісність жил та ізоляції кабелів (перевіряється візуально);

- перевірити наявність стисненого повітря, працездатність пускової апаратури перевірити надійність з'єднань секцій розчинопроводу та його приєднання до пневмонагнітача;

- перевірити наявність мастила в мотор-редукторі;

- перевірити затягування різьбових з'єднань складальних одиниць та деталей;

- перевірити працездатність пневмонагнітача на холостому ході;

- перевірити відсутність замикань на корпус струмопровідних частин, перевірити справність пристрою захисного вимкнення;

- перевірити наявність мінерально-сполучного матеріалу в обсязі, необхідному для тривалої роботи насосного агрегату (кількість має бути достатньою для заповнення як мінімум однієї ємності на сполученні). Мішки з сухою мінеральною сумішшю повинні знаходитися в безпосередній близькості від змішувача з розрахунку 15- 18 мішків на один заміс.

- приготувати мірні ємності (відра 10...15 л) для заливки води в змішувач перевірити чистоту і сухість матеріалу, що подається.

- переконатися в цілісності мішків із сухою сумішшю, порвані мішки з наявністю густих грудок у результаті зволоження під час транспортування та зберігання до роботи не допускати;

- перевірити чистоту змішувальної камери; при забрудненні її твердіючим матеріалом необхідно його видалити;

Для обслуговування насосного агрегату та ведення робіт зі зведення литої смуги необхідні три робітники. Один робітник подає мішки з мінеральною сумішшю до агрегату. Другий робітник наповнює матеріалом дозатор порошку. Третій робітник знаходиться на сполученні біля виходу подаючого шлангу, спостерігає за виходом суміші, наповненням мішків сумішшю і усуває можливі дрібні витoki суміші.

Перевірка та підготовка робочого місця, послідовність виконання робіт при приготуванні та транспортуванні суміші.

Для подачі матеріалу мінеральної суміші насосним агрегатом ПН-800 слід виконати наступні операції:

- перевірити стан агрегату і герметичність всіх з'єднань, особливо шлангів, що підводить воду і подає суміш;

- перевірити закріплення напірного рукава у вихідного сопла апарата та на місці подачі в опалубку;

- переконавшись, що є мінерально-сполучний матеріал у кількості, що забезпечує безперервну роботу насосного агрегату. Мішки із сухою сумішшю повинні знаходитися в безпосередній близькості від змішувача з розрахунку 15-18 мішків на один заміс;

- перевірити готовність опалубки до прийому суміші загортання простору між стійками органного кріплення (дошкою, мішковиною тощо);

- продути напірний рукав стиснутим повітрям, по манометру переконавшись в достатньому тиску (0,6 МПа);

- перевірити обертання лопастей змішувача за годинниковою стрілкою і проти годинникової стрілки.

- для нормальної роботи ущільнювальних вузлів змішувача необхідно щозмінно шприцювати солідолом маслянки валу (2 шт.) до появи мастила на його поверхні;

- відкрити кран на кришці люка резервуара, а потім відкрити кришку люка.

- у отворі люка повинна бути встановлена сітка з коміркою 30*30 мм;

- у завантажувальний отвір люка встановити вирву кнопкою «ПУСК» включити привід змішувача на приготування розчину (обертання змішувача проти годинникової стрілки з боку передньої опори);

- завантаження матеріалів проводити при працюючому приводі в наступній послідовності: залити 15 літрів води та засипати 3 мішки суміші,

потім залити 15 л води та засипати три мішки тощо. Загальна кількість мішків сухої суміші може бути 15 шт+75 л води або 18 шт+90 л води;

-очистити від залишків розчину та герметично закрити люк кришкою за допомогою замку;

- перемикачем (реверсом) змінити напрямок обертання валу змішувача;

- повністю відкрити кран «нижнє» повітря;

- повільно, не в повному обсязі відкрити кран «верхнє» повітря - відбувається подача розчину. При цьому необхідно обов'язково стежити за зростанням тиску в пневмозмішувачі.

-при швидкому зростанні тиску до 0,7 МПа прикрити кран «верхнє» повітря, якщо тиск не піднімається - відкрити кран більше;

-тиск повітря в системі підтримувати в режимі, який забезпечує стабільну роботу подачі розчину за допомогою крана «верхнє» повітря. Величину тиску контролювати за манометром;

-в кінці циклу транспортування розчину, коли тиск у резервуарі впаде приблизно на 0,2МПа, закрити крани «нижнє» та «верхнє» повітря;

- після закінчення транспортування розчину відкрити кран на кришці люка для скидання тиску всередині резервуару до атмосферного та відкрити кришку люка;

- після закінчення роботи промити резервуар і прочистити напірний трубопровід і напірний рукав від залишків розчину пижом - вставити пиж в початок рукава, закрити кришку люка і подати повітря при відкритому крані «верхнє» повітря, а зовнішні частини пневмонагнітача очистити від пилу, бруду, вологи.

Технологія пересування насосного агрегату ПН-800.

Пересування насосного агрегату по виробці здійснюється за допомогою двох пересувних кареток дизельної дороги, з'єднаних між собою поздовжньою тягою.

На балку дизельної дороги за допомогою відрізків ланцюга 18*64, з'єднаних болтами М24, підвішується ручна таль, гак якої чіпляється за стяжку лиж насосного агрегату, з одного боку. Таким чином, одна сторона агрегату піднімається до висоти, необхідної для підвішування ланцюга каретки дизельної дороги за вухо на корпусі агрегату. Аналогічно піднімається та підвішується друга сторона агрегату. Підвішений агрегат за допомогою талі переміщається дизельними балками на місце установки.

6.2 Розрахунок економічної ефективності запропонованої технології спорудження охоронної смуги

Згідно з наведеною технологією робіт на один метр виробки витрачається:

- мішків з мінеральною сумішшю – 104 шт. по 50 кг;
- води – 420 л;
- 32 стійки кріплення;
- 2дошки
- оболонки для суміші;
- 1,2 пневморукава.

Від шахтної технології цей перелік відрізняється пневморукавами і іншим змістом мінеральної суміші.

Стойки кріплення, оболонки для суміші і дошки використовуються в однаковій кількості і в шахтному і в запропонованому варіанті. Тому для порівняння економічної ефективності не враховуються. Також не будемо враховувати трудомісткість робіт, оскільки об'єм робіт суттєво не відрізняється.

Порівняння ціни матеріалів по шахтному і запропонованому варіанту наведено в таблиці 6.1.

Результат розрахунку вказує, що економія на 1 м виробки становить 1761 грн. На підтримання штреку довжиною 2 кілометри економія становить 3,522млн грн.

Таблиця 6.1 – Вартість матеріалів литої смуги по шахтному і запропонованому варіантам

№	Матеріал	Ціна за одиницю, грн	Ціна на 1 м, грн
Шахтний варіант			
1	Бі-кріплення	117	12168
	Разом		12168
Шахтний варіант			
1	Бі-кріплення	93,6	9734
2	Пневморукав	560	672
	Разом		10402

Проведені розрахунки вказують, що ефект від запропонованих рішень достатньо чутливий, що підтверджує раціональність запропонованих рішень.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Заходи безпеки при спорудженні литої смуги

Роботи з ремонту, огляду, обслуговування заливальної машини проводяться при відключеній машині, заблокованій пусковій апаратурі. На пусковій апаратурі має бути вивішена табличка «Не вмикати! Працюють люди!».

Недотримання послідовності відкриття кранів спричиняє забивання напірного рукава розчином. При виявленні несправності в роботі пневмонагнітача негайно відключити двигун, скинути тиск вжити заходів до усунення несправності.

Засоби індивідуального захисту.

У ході виконання всіх процесів та операцій, пов'язаних із зведенням литої смуги слід застосовувати засоби індивідуального захисту. До них відносяться: робочий одяг захисні рукавиці захисні окуляри протипилові респіратори. У разі контакту шкіри або очей із сполучним матеріалом, слід забруднення негайно змити водою.

Правила техніки безпеки при спорудженні литої смуги:

1. Забезпечити контроль метану у місці ведення робіт відповідно до вимог ПБ та нормативних документів.

2. Узгодженість у діях робітників під час роботи із заливання смуги безпечних методів виконання робіт - основа безпечних методів виконання робіт.

3. При видачі наряду на виконання робіт інструктаж дає гірничий майстер або інша особа технічного нагляду.

4. У ході роботи зі сполучним матеріалом слід застосовувати засоби індивідуального захисту. До них відносяться робочий одяг: захисні рукавиці; захисні окуляри протипилові респіратори. У разі контакту шкіри або очей зі сполучним матеріалом слід забруднення змити водою.

5. Забороняються вести роботи з влаштування литої смуги за недостатньої щільності кріплення сполучення.

6. При встановленні ємності та приєднанні рукавів вихід з лави з сполучення повинен бути вільним.

7. При приготуванні розчину необхідно дотримуватись встановлених пропорцій між компонентами суміші

8. При виконанні робіт із заливання суміші слідкувати за герметичністю рукавів та з'єднань.

9. При завантаженні, транспортуванні, розвантаженні та зберіганні суміш повинна бути захищена від пошкодження мішків, зволоження та забруднення [28].

7.2 Заходи безпеки при установці анкерного кріплення

Безпека робіт при бурінні шпурів [29].

1. При бурінні шпурів у виробці у місця робіт повинно знаходитися не менше двох осіб.

2. Перед початком буріння анкерних шпурів необхідно оглянути поверхню виробки - обібрати навіси породи, які можуть відділятися від масиву в покрівлі і боках виробки, визначити візуально або шляхом простукування покрівлі розшарування гірську породу і обібрати її оборником.

3. Всі робітники повинні бути забезпечені респіраторами та захисними окулярами.

4. Забороняється бурити шпури через відшарувалися шматки породи з метою уникнення обвалення породи.

5. Перед початком робіт з буріння шпурів і установці анкерів необхідно перевірити концентрацію газу метану в забої.

6. Перед виконанням робіт на пневмоінструменті необхідно перевірити рівень масла в маслянки.

7. До початку ведення робіт перевірити цілісність з'єднання рукавів, що подають стиснене повітря.

8. Роботи з буріння шпурів і установці анкерів в зоні роботи слід вести при зупинених постачальних роботах і заблокованому конвеєрі.

9. Розбирання трубопроводів, рукавів і пневмоінструменту, що знаходяться під тиском стисненого повітря, проводиться тільки при відключеному подачі повітря від компресора, знятому тиску в ставі і випущеному повітрі з пневмоінструменту і маслянки [29] [29].

Безпека робіт при установці полімерних ампул.

1. При виявленні на робочому місці ампул з пошкодженої оболонкою вони повинні бути поміщені в подвійний поліетиленовий пакет, герметично упаковані, вивезені на поверхню і здані в утилізацію.

2. Забороняється проводити порушення (розрив) оболонки ампул до введення їх в шпурі.

3. Установку полімерних ампул необхідно проводити в рукавицях.

4. У разі потрапляння хім. суміші полімерної ампули на відкриті ділянки шкіри, необхідно змити проточною водою [29].

Безпека робіт при установці анкерів.

1. При зведенні анкерного кріплення у виробці у місця робіт повинно знаходитися не менше двох осіб.

2. При веденні робіт на висоті більше 1,8 м анкерне кріплення необхідно зводити зі спеціального робочого полку.

3. Забороняється проведення робіт з установки анкерного кріплення з комбайна.

4. До міцного схоплювання закріплювача забороняється підвішувати до елементів анкерного кріплення обладнання та інші предмети [29].

Засоби індивідуального захисту.

1. Для захисту очей повинні застосовуватися захисні окуляри.

2. Забороняється без застосування ЗІЗ органів слуху (навушники, протишумні вкладиші) буріння шпурів перфраторів; обслуговування компресора.

3. При запиленості повітря на робочих місцях передбачено застосування протипилових респіраторів.

4. Всі працівники повинні бути навчені наданню першої допомоги потерпілим, при собі мати індивідуальні перев'язувальні пакети в міцній водонепроникній оболонці, що видаються в установленому порядку [29].

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи вирішено актуальне завдання удосконалення способу охорони підготовчих виробок в умовах бл. 10 ПРАТ ш/у Покровське з метою забезпечення їх повторного використання.

З початком військових дій ПРАТ ш/у Покровське не тільки не скоротило обсяги виробництва вугілля, а навіть ввело в експлуатацію нову лаву. В умовах заборони на експорт енергетичних ресурсів, підприємство підтримує вітчизняну енергетичну галузь. Доробка запасів ПРАТ ш/у Покровське пов'язано з доробкою блоків 10, 11, 12. При переході на більш глибокі горизонти, нижче 708 м, підприємство стикнулось з низкою проблем стійкості дільничних гірничих виробок. Повторне використання штреків, яке дозволяє суттєво скоротити витрати на підготовку виїмкових полів, ускладнено гірничо-геологічними умовами і вимагає нових удосконалених рішень.

Аналіз стану виробок ПРАТ ш/у Покровське свідчить про те, що повторне підтримання штреків зі збільшенням глибини гірничих робіт потребує все більше і більше ресурсів. Просте збільшення ширини литої смуги, хоч і призводить до підвищення її несучої здатності, не може вважатись ефективним способом забезпечення стійкості, оскільки призводить до перевитрат суміші, що не дають пропорційного ефекту в стійкості. Однією з основних проблем, яка була ідентифікована під час спостережень за механізмом деформування порід покрівлі за лавою було розшарування порід за лавою, в зоні свіжо залито смуги. Це викликано запізнілим контактом полоси з покрівлею через усадку твердіючої суміші при застиганні.

Після проведення аналізу літератури було встановлено, що сучасні суміші для литих смуг, що використовуються в світі, мають менший час твердіння ніж «Бі-кріплення», яке використовується в ПРАТ ш/у Покровське,

однак невирішеною проблемою сумішей з прискорювачами твердіння залишається неможливість керування часом початку реакції твердіння.

На основі узагальнення суті проблеми були сформульовані основні вимоги до способу:

- удосконалений спосіб повинен забезпечувати достатню несучу здатність в умовах відпрацювання блоку 10 і наступних блоків;
- удосконалений спосіб повинен мати нижчу вартість ніж базовий спосіб охорони литими смугами;
- удосконалений спосіб повинен виключати недолік усадки смуги після заливки внаслідок вступу в реакцію води.

Вирішення перших двох вимог запропоновано досягти за рахунок використання литих смуг на основі відходів виробництва. Це дозволяє з одного боку знизити вартість матеріалу литої смуги, а з іншого – збільшити ширину смуги до необхідної величини. Для вирішення третьої вимоги запропоновано новий спосіб заливки смуги з регульованим розпором твердуючої суміші пневмобалонами.

В магістерській роботі обрано метод комп'ютерного моделювання, щоб дослідити еволюцію поля напруги навколо штреків після проходження лави. В результаті моделювання встановлено, що запропонований спосіб охорони штреків для повторного використання буде ефективний при ширині 2,7 м. Пропозиція з удосконалення конструкції литої смуги є доцільною з точки зору геомеханічної ситуації навколо штреку.

Результат техніко-економічного порівняння вказує, що економія на 1 м виробки становить 1761 грн. На підтримання штреку довжиною 2 кілометри економія становить 3,522млн грн. Таким чином ефект від запропонованих рішень підтверджує їх раціональність.

Наведено вимоги охорони праці і заходи з техніки безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проект дальнейшего развития ПАТ «ШУ «Покровське (арх. №177998), Дніпрогіршахт. 2010. 456 с.
2. Булат А.Ф., Ильяшов МА., Усаченко Б.М и др. Временный технологический регламент по охране подготовительных выработок угольных шахт литыми полосами из твердеющих материалов /Минтопэнерго Украины, ИГГМ НАНУ. - Днепропетровск. 2004. - 33 с.
3. Ильяшов, М. А. К вопросу актуальности охраны подготовительных выработок литыми полосами / М. А. Ильяшов // Горно-информ. бюл. – 2008. №1.
4. Результаты оценки условий поддержания подготовительных выработок в условиях шахты «Красноармейская-Западная No 1» / А.А. Яйцов, О.Д. Кожушок, В.А. Болбат, Н.А. Бугаева // Проблемы гірського тиску: зб. наук. праць / ДонНТУ. – Донецьк, 2007, Вип. 15. – С. 19-32.
5. Ranjith P G, Zhao J, Ju M, De Silva RVS, Rathnaweera T D and Bandara AKMS 2017 Opportunities and challenges in deep mining: a brief review. Engineering 3 546–51
6. Ma Z, Wang J, He M, Gao Y, Hu J and Wang Q Key 2018 Technologies and Application Test of an Innovative Noncoal Pillar Mining Approach: A Case Study. Energies 11, 2853
7. He M, Gao Y, Yang J, Wang J, Wang Y and Zhu Z 2018 Engineering experimentation of gob-side entry retaining formed by roof cutting and pressure release in a thick-seam fast-extracted mining face. Rock Soil Mech 39 254-64
8. Yuan L 2016 Control of coal and gas outbursts in Huainan mines in China: A review. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 8 (4) 559-67
9. Petlovanyi M, Malashkevych D, Sai K, Bulat I, Popovych V 2021 Granulometric composition research of mine rocks as a material for backfilling the mined-out area in coal mines. Mining of Mineral Deposits, 15(4) 122-129.

10. Rajwa S, Janoszek T, Prusek S 2019 Influence of canopy ratio of powered roof support on longwall working stability – A case study. *Int. J. of Min. Sci. and Technol.* 29(4).
11. J. Ning, J. Wang, T. Bu, S. Hu, and X. Liu, “An innovative support structure for gob-side entry retention in steep coalseam mining,” *Minerals*, vol. 7, no. 5, p. 75, 2017.
12. H. Wang, D. Zhang, and L. Liu et al., Stabilization of gob-side entry with an artificial side for sustaining mining work, ”*Sustainability*, vol. 8, no. 7, p. 627, 2016.
13. Bai J, Zhou H, Hou C, Tu X and Yue D 2004 Development of support technology beside roadway in goal-side entry retaining for next sublevel. *Journal of China University of Mining & Technology* 33 (2) 59–62
14. Y. Li and X. Hua, “Mechanical analysis of stability of key blocks of overlying strata for gob-side entry retaining and calculating width of roadside backfill,” *Rock and Soil Mechanics*, vol. 33, no. 4, pp. 1134–1140, 2012.
15. Y. Chen, J. Bai, X. Wang et al., “Support technology research and application inside roadway of gob-side entry retaining,” *Journal of the China Coal Society*, vol. 37, no. 6, pp. 903–910, 2012.
16. B. Jiang, L. Wang, Y. Lu, S. Gu, and X. Sun, “Failure mechanism analysis and support design for deep composite soft rock roadway: a case study of the yangcheng coal mine in China,” *Shock and Vibration*, vol. 2015, Article ID 452479, 14 pages, 2015.
17. S. R. Xie, H. Pan, D. D. Chen et al., “Stability analysis of integral load-bearing structure of surrounding rock of gobside entry retention with flexible concrete formwork,” *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 103, pp. 1–11, 2020
18. X. Querol, M. Izquierdo, E. Monfort et al., “Environmental characterization of burnt coal gangue banks at Yangquan, Shanxi Province, China,” *International Journal of Coal Geology*, vol. 75, no. 2, pp. 93–104, 2008.

19. C. Zhou, G. Liu, Z. Yan, T. Fang, and R. Wang, "Transformation behavior of mineral composition and trace elements during coal gangue combustion," *Fuel*, vol. 97, no. 2, pp. 644–650, 2012.
20. Gong P, Ma ZG, Ni XY, Zhang RR (2018) An Experimental Investigation on the Mechanical Properties ofGangue Concrete as a Roadside Support Body Material for Backfilling Gob-Side Entry Retaining. *Advances in Materials Science and Engineering* 2018:11.
21. Li Li.Hu. Coal gangue and its application research in building materials[J]. *Materials Science Forum*, 2016, 4269(1746): 96-104.
22. Road performance analysis of cement stabilized coal gangue mixture Zhenxia Li^{1,2,3}, Tengting Guo^{1,2,3}, Yuanzhao Chen^{4,1,2,3}, Xu Zhao¹, Yanyan Chen¹, Xiao Yang¹ and Jing Wang¹ *Materials Research Express*, Volume 8, Number 12 Zhenxia Li et al 2021 *Mater. Res. Express* 8 125502
23. X. Zhang, J. Lin, J. Liu, F. Li, and Z. Pang, "Investigation of hydraulic-mechanical properties of paste backfill containing coal gangue-fly ash and its application in an underground coal mine," *Energies*, vol. 10, no. 9, p. 1309, 2017.
24. T. Qi, G. Feng, Y. Li, Y. Guo, J. Guo, and Y. Zhang, "Effects of fine gangue on strength, resistivity, and microscopic properties of cemented coal gangue backfill for coal mining," *Shock and Vibration*, vol. 2015, Article ID 752678, 11 pages, 2015.
25. Y. Guo, P. Wang, G. Feng, T. Qi, G. Liu, and A. Ren, "Performance of coal gangue-based cemented backfill material modified by water-reducing agents," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2020, Article ID 2302895, 11 pages, 2020
26. Литвинский Г.Г., Фесенко Э.В. Анализ компьютерных программ по расчёту горного давления в выработках. Сборник научных трудов ДонГТУ. 2012. № 36. С. 5-14
27. <https://www.ansys.com/academic>.

28. Правила безпеки у вугільних шахтах (НПАОП 10.0-1.01-10)
[Електронний ресурс] / URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0398-10/>
(дата звернення 22.04.2023).

29. СОУ 10.1.05411357.012:2014 "Інструкція з проектування
комбінованого рамно-анкерного кріплення гірничих виробок"
Міненерговугілля України, Київ, 2014.