

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

Факультет «Гірничий»

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Розробки родовищ корисних копалин»

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____/Єфремов І.О./

“ ” _____ 2021_року

Випускна кваліфікаційна робота

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Обґрунтування доцільності боротьби з підняттям підшви гірничих
виробок ш/у Покровське» шляхом зміцнення порід»

Виконав: студент 2 курсу, групи РККм-20

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

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Сидоров М.Р.

(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 інших
авторів без відповідних посилань.*

Студент Сидоров М.Р.

(підпис)

Покровськ – 2021 р

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»

Факультет Гірничий

Кафедра Розробка родовищ корисних копалин

Освітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 184 «Гірництво»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

/Єфремов І.О./

“ ” 2021 року

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

Сидоров Максим Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування доцільності боротьби з підняттям підпошви гірничих виробок ш/у Покровське» шляхом зміцнення порід

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

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

затверджені наказом № від “ ” 2021 року

2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи матеріали, зібрані відповідно до завдання під час проходження переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: загальна характеристика ш/у Покровське, аналіз проблеми підняття порід підпошви гірничих виробок в Україні і світі, шахтний спосіб проведення і кріплення штреків на прикладі 7 півн. конв. штреку бл. 10, вибір доцільного способу боротьби з підняттям підпошви, дослідження способу боротьби з підняттям порід підпошви в умовах ш/у «Покровське»

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

схема розкриття, викопіювання з плану гірничих виробок, паспорт проведення і кріплення виробки (шахтний варіант), картини розподілу напружень навколо виробки, запропонована схема зміцнення порід, результати розрахунків

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз проблеми підняття порід підпошки гірничих виробок	05.10.2021	
2	Аналіз гірничо-геологічних умов об'єкта дослідження	15.10.2021	
3	Шахтний спосіб проведення і кріплення штреківтна прикладі 7 півн. конв. штреку бл. 10	01.11.2021	
4	Вибір доцільного варіанту боротьби з підняттям підпошки	20.11.2021	
5	Дослідження способу боротьби з підняттям порід підпошки ПРАТ ш/у «Покровське»	01.12.2021	
7	Оформлення роботи і підготовка до захисту	10.12.2021	

Студент

_____ Сидоров М.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

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

АНОТАЦІЯ

Сидоров М.Р. Обґрунтування доцільності боротьби з підняттям підосви гірничих виробок ш/у Покровське» шляхом зміцнення порід / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 184 «Гірництво». – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Магістерська робота присвячена вирішенню актуального завдання наукового обґрунтування і розробки способу боротьби з підняттям підосви гірничих виробок на пл. d₄ в блоці 10 ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».

Огляд літературних джерел дозволив типізувати випадки підняття підосви і згрупувати їх в три класи за механізмом розвитку: внаслідок руйнування порід і видавлювання їх в порожнину виробки; внаслідок набухання порід при зволоженні; внаслідок вигину шарів, розташованих в підосві.

Проблема пучіння найбільш актуальна в зонах з підвищеним водопритоком. Аналіз вказує найбільш вірогідний механізм розвитку через руйнування порід при контурної зони. Шахтна технологічна передбачає лише боротьбу з наслідками пучіння

Аналіз світового досвіду свідчить, що найбільш прогресивним і доцільним в сучасних умовах є спосіб боротьби з пучінням шляхом зміцнення порід.

На підставі проведеного чисельного аналізу напружено-деформованого стану масиву доведено низьку ефективність зміцнення порід у вигляді зворотнього склепіння. Запропонований спосіб боротьби з пучінням, заснований на створенні в підосві локально укріплених зон спеціальної форми.

Враховуючі відомий досвід запропоновано використання твердіючих смол і машин для інектування компанії Мінова. Розроблена схема зміцнення порід підосви. Розраховано параметри способу. Розрахована вартість реалізації - близько 6333 грн/м пог. виробки. Отримані результати свідчать про ефективність запропонованих рішень.

Ключові слова: пучіння, комбайн, шахта, зміцнення, водоприток, ін'єктування смол.

ABSTRACT

Sidorov M.R. «Substantiation of expediency of struggle against floor heave of mine workings Pokrovske mine by strengthening of rocks» / Graduation qualifying work for obtaining an educational degree «Master» specialty 184 «Mining». - SHEI DonNTU, Pokrovsk, 2021.

The master's thesis is devoted to solving the urgent problem of scientific substantiation and development of a method of combating the floor heave of the mine workings on seam d_4 in block 10 of PJSC Pokrovske Mine. A literature review allowed to typify cases of raising of a floor heave and can be classified into three categories: bearing capacity failure, swelling and buckling.

The problem of bearing capacity failure is most relevant in areas with high water inflow. The analysis indicates the most probable mechanism of development due to the destruction of rocks in the contour zone.

Mine technology involves only the fight against the effects of swelling. Analysis of world experience shows that the most progressive and appropriate in modern conditions is a way to control bearing capacity failure by strengthening the rocks.

Based on the numerical analysis of the stress-strain state of the array, the low efficiency of rock hardening in the form of an inverted arch is proved.

A method of floor heave control based on the creation of locally strengthening areas of special shape in the floor.

Taking into account the known experience, the use of hardening resins and injection machines by Minova is proposed. The scheme of strengthening of breeds of a floor is developed. The parameters of the method are calculated. The estimated cost of sales - about 6333 UAH / m of roadway. The obtained results testify to the effectiveness of the proposed solutions.

Key words: floor heave, tunnelling, mine, strengthening, drainage, resin injection.

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1	АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПІДНЯТТЯ ПОРІД ПІДОШВИ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК	9
	1.1 Відомості про прояви «пучіння» на вугільних шахтах світу	9
	1.2 Застосування чисельних методів у дослідженнях стійкості підошви	20
	1.3 Підняття підошви в українських шахтах	26
2	АНАЛІЗ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	33
3	ШАХТНИЙ СПОСІБ ПРОВЕДЕННЯ І КРІПЛЕННЯ ШТРЕКІВ НА ПРИКЛАДІ 7 ПІВН. КОНВ. ШТРЕКУ БЛ. 10	37
4	ВИБІР ДОЦІЛЬНОГО СПОСОБУ БОРОТЬБИ З ПІДНЯТТЯМ ПІДОШВИ	48
5	ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ БОРОТЬБИ З ПІДНЯТТЯМ ПОРІД ПІДОШВИ В УМОВАХ Ш/У «ПОКРОВСЬКЕ»	54
	5.1 Методика дослідження	54
	5.2 Чисельний аналіз локального зміцнення підошви	58
	5.3 Розробка ідеї нового способу зміцнення підошви	67
	5.4 Запропонований спосіб зміцнення підошви	71
	ВИСНОВКИ	80
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82

ВСТУП

Більшість вугільних шахт України зазнають надмірної деформації підосви гірничих виробок, більш відомої як «пучіння». Хоча це явище, як правило, не має наслідків для безпеки, воно спричиняє фінансові втрати підприємству через необхідність відновлення перетину виробок шляхом підризки і прибирання деформованих порід і затримок в виробництві. Підняття підосви, що спостерігаються на українських вугільних шахтах, свідчать про розвиток механізму типу руйнування порід в при контурній області в тому числі за рахунок розмокання порід. Однак дослідження цього питання попри майже столітню історію питання, все ще недостатні. Про це свідчить відсутність ефективних способів боротьби з підняттям порід, що реалізовані в Україні.

Фактично єдиним способом боротьби з «пучінням» наразі є підризка гірських порід. Способи, що ґрунтуються на зміцненні порід, які набули поширення в світовій практиці, нажаль, на вітчизняних шахтах не використовуються.

Шахтоуправління «Покровське» не дивлячись на те, що є найкращим вуглевидобувним підприємством України і лідером вуглевидобутку, також не використовує способів боротьби з підняттям підосви. Хоча на підприємстві використовувались найкращі зразки світової гірничої техніки. Компанії Сандвік, ДВТ, Джой і т.п. впроваджували свої машини і технічні рішення на шахті. Зараз на підприємстві впроваджуються системи анкерного кріплення, в тому числі довгі канатні анкери, що є сучасним трендом світового підтримання виробок.

Підризка в шахтоуправлінні «Покровське» ведеться як вручну відбійними молотками так і породопідризовочними машинами ковшового типу. Опосередковано боротьба з пучінням ведеться шляхом водовідведення. Для

цього впроваджено схему водовідведення насосами ЦНС-60/75, NDP-40 а також насосами забойної групи ШН-80/19 (6 Ш-8/2) і NDP – 80.

Проте ні підбивка ні водовідведення не вирішує проблему пучіння, оскільки перша бореться з наслідками, а друге не стримує зниження міцності порід при розмоканні.

Обстеження конвеєрних штреків блока №10 свідчать, що пучіння має в просторі періодичний характер з неоднорідним розподілом по величині: від 20-30 см до 80-90 см.

Тому актуальною задачею магістерської роботи є пошук шляхів боротьби з підняттям порід підосви в підготовчих виробках.

Мета роботи: наукове обґрунтування способу боротьби з підняттям підосви гірничих виробок в блоці 10 ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».

Завдання роботи:

- Літературний аналіз проблеми підняття порід підосви гірничих виробок
- Аналіз гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов в блоці 10 ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».
- Аналіз паспорта проведення і кріплення виробки шахтного способу боротьби з пучінням на етапі проведення.
- Математичне дослідження пучіння підосви і обґрунтування способу боротьби з ним.

Методи дослідження.

Під час огляду літератури, аналізі гірничо-геологічних умов роботи підприємства, аналізі шахтного варіанту боротьби з пучінням, аналізі існуючих способів протидії пучінню - використовувалися загальні наукові методи, аналіз і синтез. При дослідженні пучіння і способу боротьби з ним використовувався метод математичного моделювання і метод інженерних розрахунків.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 45 найменування; містить 80 сторінок основного тексту, 33 рисунків, 4 таблиць, загальний обсяг роботи складає 87 сторінок.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПІДНЯТТЯ ПОРІД ПІДОШВИ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

1.1 Відомості про прояви «пучіння» на вугільних шахтах світу

Ведення гірничих робіт призводить до деформації покрівлі, боків і підшви виробок. Хоча деформаціям підшви приділяється менше уваги порівняно з покрівлею, сильна деформація іноді трапляється у підземних виробках рис. 1.1. Це потребує відновлення експлуатаційного перетину гірничих виробок, призводить до проблем з транспортуванням гірничої маси і безпечним пересуванням по виробках гірників. Ця надмірна деформація підшви зазвичай називається «пучіння». Згідно з дослідженнями професора Peng [1], підняття описується як «руйнування і підняття в порожнину виробки порід безпосередньої покрівлі» або «видавлювання порід безпосередньої покрівлі».



Рисунок 1.1 – Результат підняття порід підшви в штреці [2]

Найбільш шкідливі прояви пучіння в дільничних виробках, що може порушити роботу лав [3, 4].

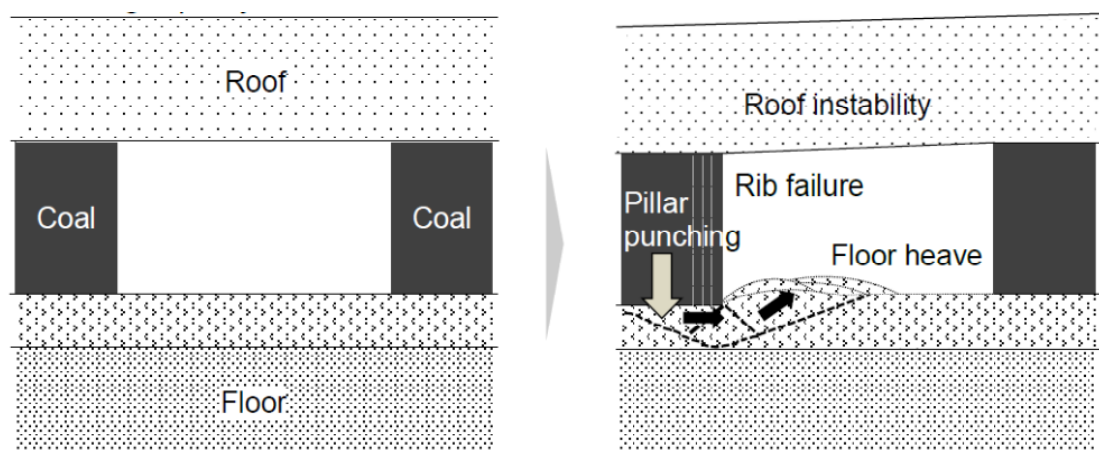
Пучіння тягне за собою додаткові потреби в обслуговуванні та робочій силі, а отже, спричиняє фінансові втрати через затримки виробництва, якщо їх не вчасно вжити. Як правило, як тільки підняття підосви відбувається в штреках, підосву «чистять» шляхом «підривки» порід, щоб зберегти необхідний перетин виробки. Для запобігання підняттю порід в світі використовуються дерев'яні і гідравлічні опорні стійки, кріплення підосви, вибухові роботи для розвантаження порід, різання канавок, свердління свердловини та нагнітання цементних розчинів або поліуретанової смоли в породи підосви [5-7].

Попередні дослідження були зосереджені на трьох основних механізмах пучіння у вугільних шахтах: втрата несучої здатності, набухання та вигин [8], як показано на рис. 1.1.

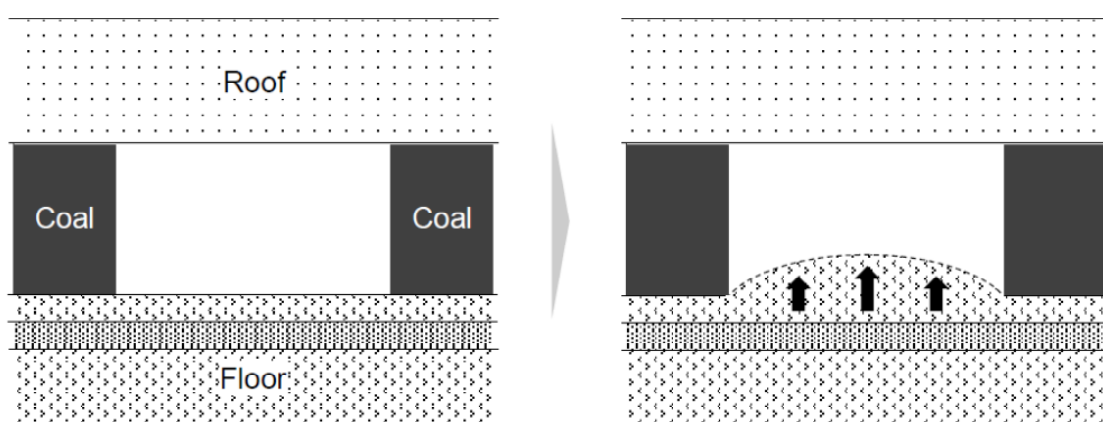
Втрата несучої здатності уявляє собою руйнування при зсуві слабкої підосви під боками виробки, коли вертикальні напруження перевищують несучу здатність підлоги. У вітчизняній практиці таке руйнування називають «видавлювання з під штампа». Багато вугільних шахт в Австралії та США повідомляли про пучіння, пов'язане з таким механізмом [9].

Набухання виникає, якщо в підосві присутні певні види глинисті мінерали і вони піддаються впливу вологи [10]. Породи здатні набухати при підвищених водопритоках, при цьому об'єм порід, що заповнює виробку може досягати – 10-15 кубічних метрів на погонний метр виробки.

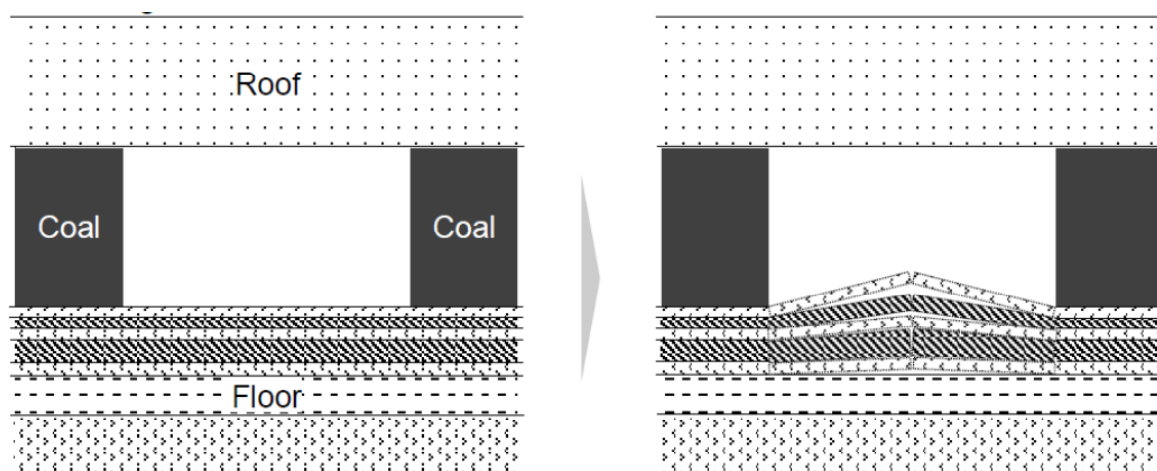
Згинання передбачає руйнування шарів в підосві, які виконують роль балок або пластини за наявності високих горизонтальних напружень [8, 11].



a)



б)



в)

Рисунок 1.2 – Основні механізми пучіння у вугільних шахтах

а) втрата несучої здатності, б) набухання, в) вигин

Для покращення несучої здатності порід підосви вугільних шахт використовуються різні формули несучої здатності, модифіковані з теорій несучої здатності в будівництві. Чисельне моделювання також широко використовується для обчислення несучої здатності порід підосви шляхом калібрування моделей за формулами несучої здатності. Найбільш повно при цьому описується механізм руйнування «видавлювання з-під штампа». Порівняно з ним набухання та вигин, та відповідні методи аналізу все ще недостатньо розвинуті і відповідні дослідження ведуться не дуже активно.

Вугільні шахти в Ньюкаслському вугільному полі Австралії, використовують двохштрекову підготовку, і камерно-стовпову систему розробки. При цьому виникають різні проблеми, пов'язані зі слабкими підосвами. В підосві залягають аргіліти і алевроліти. Хоча проблеми шахт включали підйом підосви, а також руйнування боків та осідання поверхні, пучіння було найпоширенішою проблемою через слабкі шари в цій зоні, як показано на рис. 1.3 [12]. Великий Північний пласт на Куранбонг -Коллірі та Державному руднику Аваба та Валларський пласт у Колліері мали великі підняття підосви, при цьому в багатьох випадках пучіння відбувалося на глибинах навіть менше 100 м.



Рисунок 1.3 – Підняття підосви на Munmorah Colliery in Newcastle Coalfield [12]

Цей механізм видавлювання порід пояснюється схемою, наведеною на рис. 1.4. Такий механізм називається в вітчизняній практиці «видавлювання з-під штампа». Теоретичні його складові розвинуті в роботах радянського вченого Цитовича.

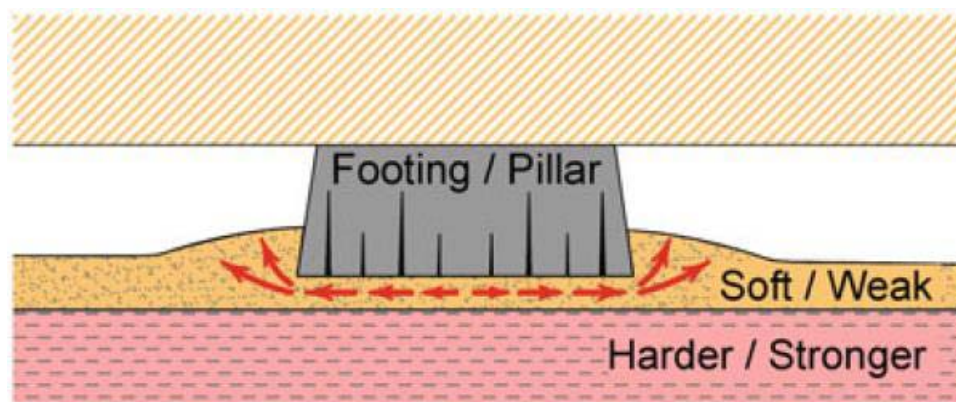


Рисунок 1.4 – Механізм видавлювання порід «з-під штампа» [12]

Подібні випадки підняття підосви через слабкі глинисті породи викликали велику стурбованість у США, особливо в басейні Іллінойсу та таких районах, як Західна Вірджинія та Алабама [9]. На рис. 1.5 показаний нещодавній випадок підйому підлоги на вугільній шахті в Західному Кентуккі [7]. Вважалося, що причиною підняття підосви стало збільшення товщини аргіліту до 1,5 м навколо зон пучіння порівняно з типовою товщиною 0,6 м в інших районах.

Підняття підосви внаслідок видавлювання порід з під охоронної споруди, зведеної на межі з лавою, описано в роботі [13] для умов шахти Крирум у Квінсленді, Австралія. Як видно на рисунку 1.6, охоронні смуги з фібробетону міцністю 15 МПа вдавлюються в слабку підосву. Вдавлювання

в підшву було зафіксовано майже на 1 м. Глибина розробки коливалася від 100 м до 130 м.



Рисунок 1.5 – Підняття підшви на вугільній шахті West Kentucky [7]



Рисунок 1.6 – Вдавлення охоронної смуги в підшву на Crinum mine in Queensland [13]

Оскільки на більшості вугільних шахт проблема пучіння пов'язана з погіршенням несучої здатності, цьому механізму приділяється більша увага, ніж механізмам набухання та вигину.

Для аналізу поведінки слабкої підосви в підземних вугільних шахтах були використані та модифіковані теорії несучої здатності цивільного будівництва для середовищ видобутку вугілля. Весіч (1975) [14] узагальнив три основні способи руйнування поверхневих фундаментів на основі вдавлювання фундаментів ґрунт, як показано на рис. 1.7. На рисунку 1.7а описано режим пробивання зсуву, коли фундаментний матеріал є відносно пухким і стисливим з руйнуванням тільки навколо основи фундаменту. У міру того, як матеріали фундаменту стають більш щільними, руйнування чітко розвивається під основою, як показано на рис. 1.7б, який є місцевим зсувом. Якщо фундаменти не стискаються, загальний зсув відбувається з явним випинанням поверхні навколо основи, а також руйнуванням під основою, як показано на рис. 1.7 в.

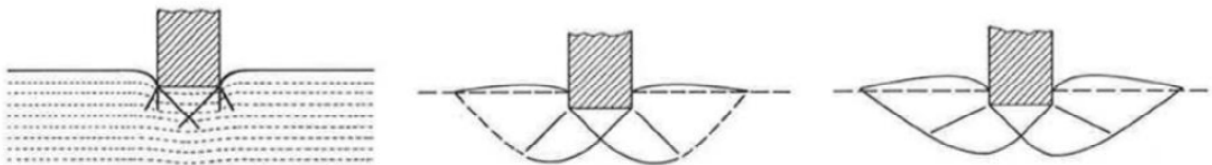


Рисунок 1.7 – Три режими руйнування під фундаментами [14]

а) руйнування зсувом вдавлювання б) руйнування локальним зсувом,
в) руйнування повним зсувом

Серед наведених трьох режимів руйнування повним зсувом вважається таким що відповідає механізму підняття підосви в вугільних шахтах [15].

Набухання.

Вода негативно впливає на породи підосви і може сприяти погіршенню несучої здатності порід [16] або набуханню. Останнє відноситься до об'ємного збільшення порід підосви через вплив вологи, як схематично зображено на рис. 1.26.

Як показано на рис. 1.8, на шахті Ньюкасл Коалфілд зафіксовано набухання порід підосви та зменшення несучої здатності [15]. Тоді як на рис. 1.9 підосва зруйнована здається від вигину порід, рушійною силою, що викликала пучіння виявилось набухання під верхнім шаром порід, як показано на рис. 1.10. Подібно до Ньюкаслського коулфілду, у басейні штату Іллінойс у США було зареєстровано тривале набухання протягом багатьох років з переміщенням підосви більше 0,6 м.



Рисунок 1.8 – Пучіння внаслідок набухання порід на Cooranbong in Newcastle Coalfield [15]



Рисунок 1.9 – Руйнування порід від вигину породної балки в підшві внаслідок набухання порід на Cooranbong in Newcastle Coalfield [12]

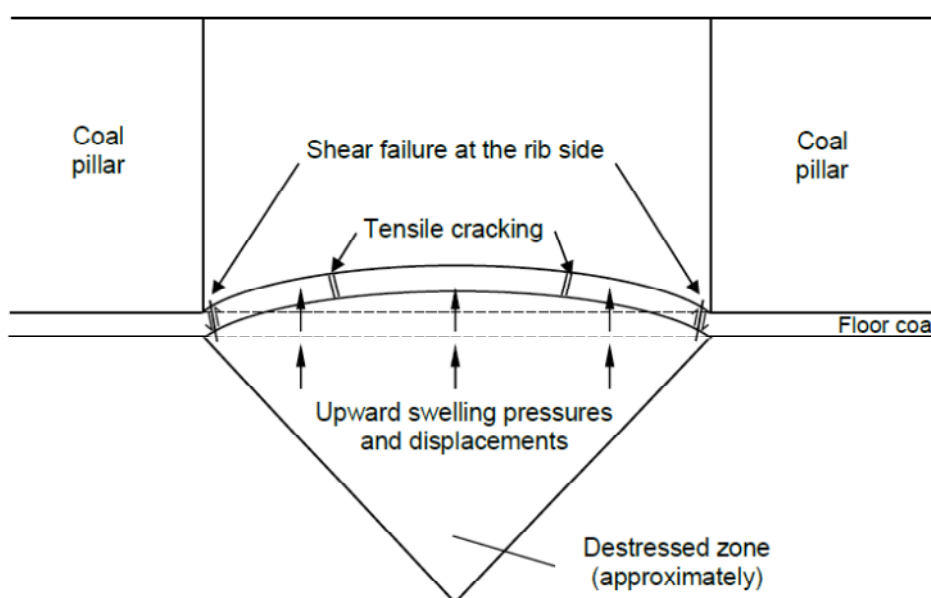


Рисунок 1.10 – Механізм набухання порід, що ілюструє пучіння рис. 1.9 (схема розроблена Seedsman).

Рисунок 1.9 та рис. 1.10 показують, що набухання не спричиняє руйнування порід на розрив. Уайтлі досліджував причину підняття підшви у Куранбонгі, висотою понад 1,5 м, у затоплених гірничих виробках, які були відпрацьовані 15 років тому. Підrivка підшви під час дослідження

показала, що пучіння було головним чином обумовлено рухом підосви вгору. Не було жодних ознак руху підосви під бічною частиною виробки. Мінералогічний аналіз показав, що породи підосви в центрі виробки і під бічною частиною були однаковими.

Вигин.

Підняття підосви пов'язане не тільки з зруйнованими і слабкими або м'якими породами підосви; руйнування міцних порід також може статися у вигляді вигину порід. Якщо підосва з тонким покриттям, жорсткі блоки вигинаються там, де присутні високі горизонтальні напруження. Як показано на рис. 1.2в, вигин зазвичай включає руйнування на розрив на поверхні підосви, і розлом, що поширюється у напрямку до нижніх шарів підосви [8, 11].

Американські вчені повідомляють про підняття міцних порід підосви при камерній системі розробки. Шахта № 4 у штаті Юта з глибиною залягання 370 м мала сильне пучіння під час відпрацювання. Безпосередня підосва була дуже міцним сланцем, перекритим піщаником, а основна підосва - масивним пісковиком. На шахті Смоут у Західній Вірджинії, з глибиною залягання від 180 м до 270 м, пучіння не спостерігалось, поки шахта не почала відновлення виїмкового стовпа [11]. Безпосередня підосва складалася з міцного сланцю 80 МПа товщиною 0,1 м, з міцністю 40 МПа, прослоєного вугільними смугами.

Вигин підосви в австралійських підземних вугільних шахтах рідко описується в літературі. На шахті West Cliff Colliery в південному Коулфілді описані підняття підосви, що складалася з вуглецевих сланців, де відбувалося викривлення балки перекриття 0,3 м. Глибина залягання становила 450 м, а фактична ширина виробки становила 7 м. Найбільша величина горизонтального напруження становила 30 МПа. Крім того, повідомлялося про швидке підняття підосви, як показано на рисунку 1.11

[15]. Підшва з у вигляді балки раптово піднялася без попередження, і вважалося, що тонкі та жорсткі шари підшви піднялись через напруження через їх велику жорсткість.

Середня глибина залягання у вугільних шахтах Польщі становить приблизно 700 м [17], а підземні вимірювання показали подібну тенденцію надмірної деформації на більших глибинах, ніж у шахтах Великобританії, ПАР, США, Австралії. Моніторинг in-situ, проведений на глибині 1000 м у польській вугільній шахті, показав, що від 70% до 90% загальної вертикальної конвергенції відбулося через підняття підшви, і підшва була вийнята для збереження експлуатаційного стану [18].

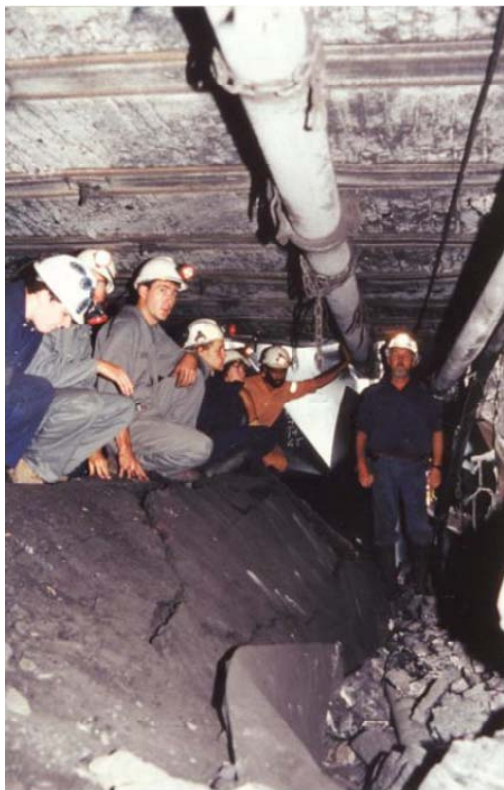


Рисунок 1.11 – Підняття підшви в штреці австралійської шахти [15]

Подібно до вугільних шахт Польщі, глибина видобутку китайських підземних вугільних шахт є близькою 1000м, і тому багато виробок

демонструють надмірну деформацію підшви [19]. Зокрема, серйозною проблемою було підняття підлоги у підготовчих роботах.

Більшість виробок на шахті 2# в Цзінь Чуані склалися з товстого пісковика міцністю 130 МПа. Хоча дефектів було небагато, а притоків води не спостерігалось, серйозні руйнування порід сталися в центрі виробки на глибині більше 900 м, як показано на рис. 1.11.

Навіть підшва закріплена анкерами піднімалась на головному повітряпостачальному штреці на глибині 466 м у шахті Хіефіао. Подібним чином відбувалися підняття підшви на глибинах понад 700 м, про що часто повідомляється в інших китайських шахтах.

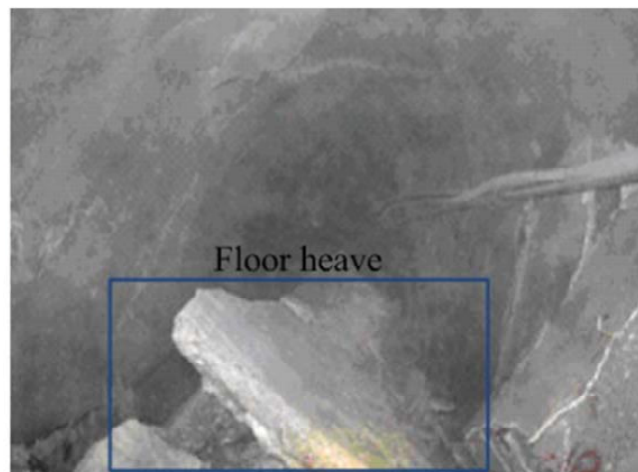


Рисунок 1.12 – Підняття підшви в штреці китайської шахти [19]

1.2 Застосування чисельних методів у дослідженнях стійкості підшви

Багато дослідників сьогодні використовують числове моделювання для дослідження випадків руйнування підшви та дослідження механізмів. Методи чисельного моделювання можуть бути як континуальні, так і дисконтинуальні. Методи континууму передбачають, що матеріали в області

моделюються як єдине тіло, яке регулюється конституційними законами, такими як пружний або пружнопластичний, і їх не можна розбивати на частини; в той час як методи дисконтинуальні передбачають, що гірська маса моделюється як сукупність блоків, з'єднаних контактами, і блоки можуть відриватися або обертатися [20].

Дисконтинуальні методи сприяють кращому розумінню механізмів руйнування шляхом явного моделювання процесів руйнування в масивах гірських порід. Незважаючи на постійний розвиток обчислювальних можливостей, однак методи, як правило, вимагають більшого часу обчислень, ніж методи континууму. Багато чисельних досліджень з використанням методів розриву обмежувалися 2D або дрібномасштабним 3D моделюванням. Більш того, складні моделі, що включають багато деталей, можуть призвести до помилкових результатів через невизначеності. Хоча підходи з континуумом явно не повторюють руйнування гірських порід, як правило, потрібно менше часу на обчислення порівняно з аналізом розриву. Підходи до континууму рекомендуються для моделювання масивів гірських порід з невеликими тріщинами або з багатьма тріщинами з використанням еквівалентних властивостей.

Методи континууму включають метод граничних елементів (BEM), метод кінцевих елементів (FEM) та метод скінченних різниць (FDM). У BEM дискретизується лише межа проблемної області, тоді як FDM і FEM вимагають дискретизації всієї моделі.

МКЕ є найбільш часто використовуваним методом чисельного моделювання, особливо для проблем механіки гірських порід у будівництві, тоді як FDM більш застосовний до аналізів нелінійних та великих деформацій. BEM сприяє швидкій оцінці; проте він зазвичай використовується для еластичного аналізу, незважаючи на можливості нелінійного аналізу. У літературі можна знайти декілька чисельних досліджень стабільності підшви з використанням BEM та FDM.

Для оцінки несучої здатності підлоги Marino and Choi використовували МКЕ [21]. Підняття підосви були змодельовані за допомогою МКЭ, щоб отримати уявлення про такі фактори, як перерозподіл вертикальних напружень, концентрація горизонтальних напружень та вплив води [9] та Kent [5] використовували програмне забезпечення FEM для дослідження впливу слабкої підосви на поведінку кріплення із прикладом, описаним на рисунку 1.13.

Окрім МКЕ, повідомляється про численні дослідження стабільності підлоги з використанням FDM. Гадде [23] запропонував підхід чисельного моделювання з використанням FDM для розрахунку несучої здатності підосви вугільної шахти.

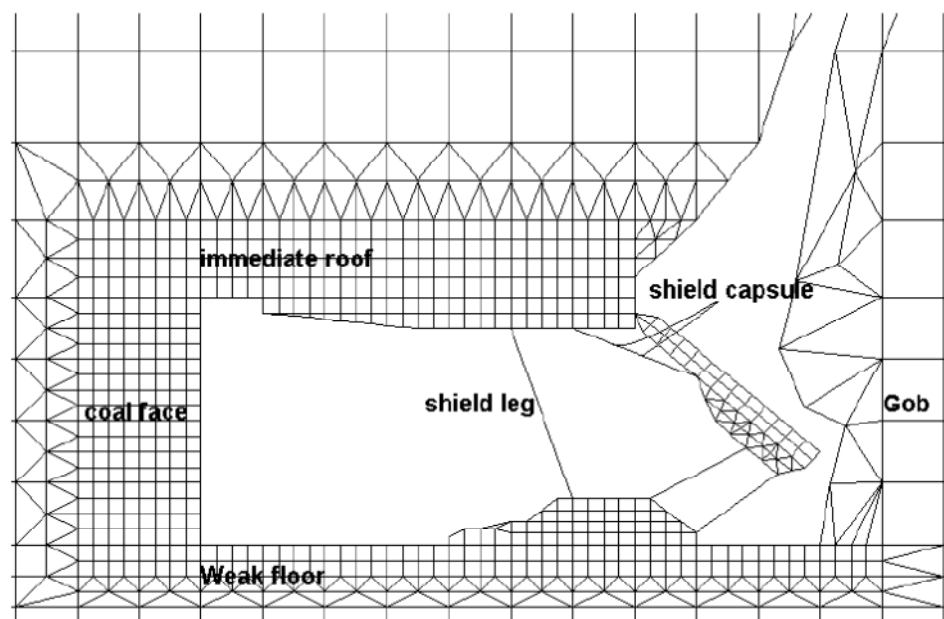


Рисунок 1.13 – Моделювання підняття підосви [22]

У дослідженні числова модель була відкалібрована, щоб гарантувати, що модель працює в межах допустимого діапазону фундаментальної теорії. Після проведення калібрування було проаналізовано взаємодію кількох виробок та вплив нерівномірного навантаження на несучу здатність. Костецький та Спірінг [24] провели чисельне дослідження впливу засипки на

несучу здатність слабкої підлоги, застосувавши аналогічний метод калібрування. Були також зроблені спроби явно імітувати підйом підлоги за допомогою FDM. Yavuz [24] успішно змодельовав фактичну величину підняття підосви, випробуваного на турецькій вугільній шахті, як описано на рисунку 1.14. Калібрували моделі FDM, які продемонстрували хорошу збіжність з виміряною деформацією підосви.

Чисельними методами досліджувалися механізми руйнувань підосви навколо виробок, зсув підосви, вплив будівництва нових штреків на виникнення пучіння виробках, що підроблюються.

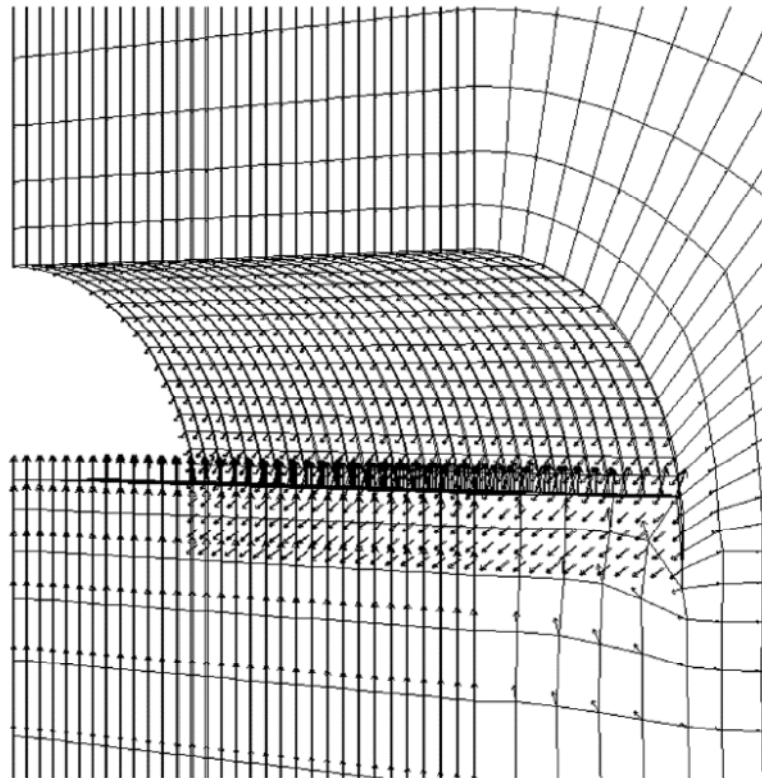


Рисунок 1.14 – Моделювання підняття підосви [24]

Вплив кріплення підосви виробок сталевими рамами, стійками, вплив свердловин та пазів на зміщення підлоги досліджували різні дослідники за допомогою чисельного аналізу [25, 26].

Підхід розриву зазвичай називають методом дискретних елементів (DEM). DEM, як правило, поділяється на метод окремих елементів та аналіз розривних деформацій (DDA). Помітне чисельне програмне забезпечення для методу окремих елементів включає Універсальний код окремих елементів (UDEC) та Код потоку частинок (PFC). У PFC гірські масиви моделюються як жорсткі сфери, а руйнування імітуються зміщенням контактів між частинками. У UDEC гірські масиви моделюються як жорсткі або деформовані блоки, скріплені деформованими контактами, а відмови імітуються або пластичною деформацією блоків, або зміщенням контактів. У DDA контакти між жорсткими або деформованими блоками вважаються жорсткими.

Методи розриву можуть реалістично фіксувати процеси руйнування порід, що сприяють ковзанню, обертанню та відриву блоків.

Порівняно з методами континууму, чисельні дослідження, спеціально зосереджені на стійкості підосви за допомогою DEM, є менш поширеними в літературі. Більшість відповідних чисельних досліджень зосереджувалися на загальній деформації виробок, включаючи покрівлю, боки та підосву у вугільних шахтах [27], як показано на рис. 1.15 та рис. 1.16.

Karampinos [28] змодельовав руйнування від вигину міцних порід підосви виробки у глибоких шахтах, де відтворювалося пучіння, як показано на рис. 1.16.

Таким чином проведений аналіз дозволяє однозначно стверджувати, що чисельне моделювання є одним з найпоширеніших сучасних методів дослідження підняття підосви гірничих виробок. При цьому цей спосіб дозволяє отримати достовірні результати при всіх трьох випадках розвитку пучіння: руйнування порід, набухання, вигин. Хоча моделі і метод чисельного моделювання при цих трьох різних механізмах повинен бути різним.

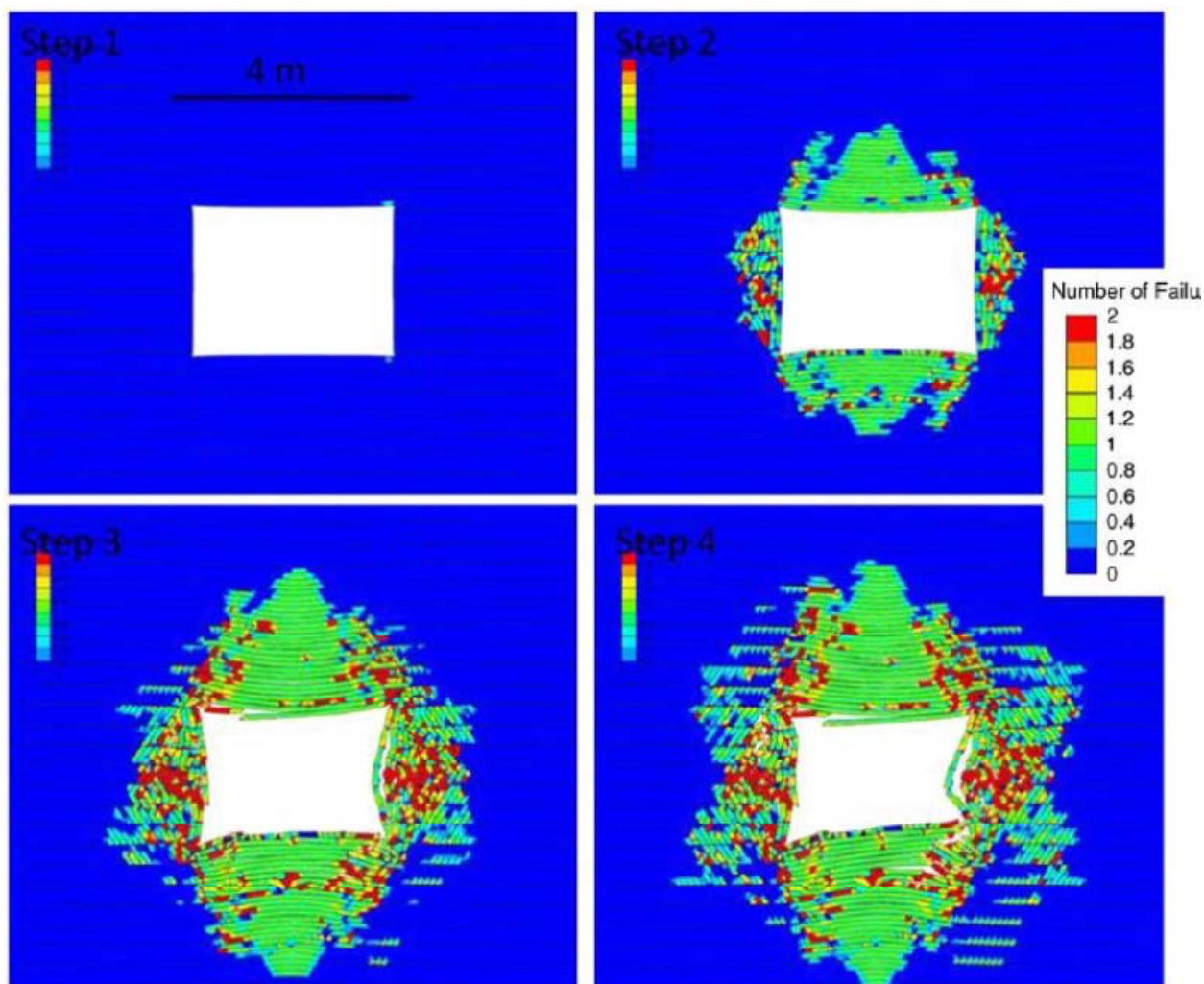


Рисунок 1.15 – Моделювання підняття підосви [27]

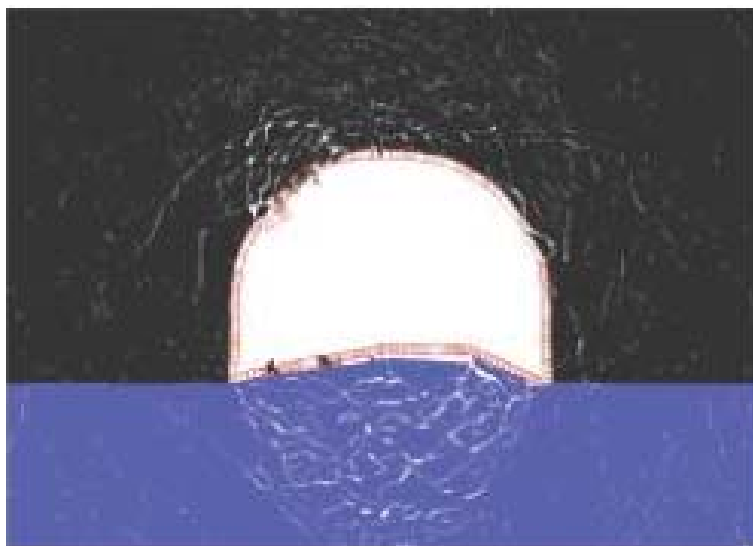


Рисунок 1.16 – Моделювання підняття підосви [28]

Це пов'язано з тим, що пучіння внаслідок вигину спостерігається там, де безпосередні шари підошви відносно міцні. Навпаки, коли в виробки біля контуру залягали слабкі поверхові шари пучіння було пов'язане як з руйнуванням несучої здатності, так і з механізмами набухання, що витікає з наведеного вище аналізу.

Одним із можливих критеріїв для відрізнєння руйнування порід від набухання є визначення того, чи відбувається руйнування боків виробки і підошви біля ніжки кріплення при розтягування підлоги чи ні. Набухання не викликає руйнування боків виробки і як згадувалося раніше, не спричиняє руйнування боків. З іншого боку, оскільки втрата несучої здатності обумовлена вертикальними напруженнями в боках виробки, пучіння відбувається знизу та поруч з боками і, можливо, спричиняє руйнування боків виробки при розтягуванні через бокове переміщення підлоги. Крім того, очікується, що максимальна деформація відбудеться біля боків виробки, а не біля її центру.

Таким чином перед тим як обирати метод моделювання підняття підошви в конкретному випадку слід спочатку проаналізувати характер розвитку пучіння і по можливості визначити найбільш вірогідний механізм.

1.3 Підняття підошви в українських шахтах

Сучасний стан гірничопрохідницьких робіт характеризується постійним зростанням протяжності підтримуваних виробок і збільшенням витрат на їх проведення і підтримку. Кризовий стан в Донбасі намітився з кінця 70-х років. Зниження видобутку в середньому на 2% в рік після 1990 року досягло рівня 10 ... 15% [28]. Становище ускладнюється старінням шахтного фонду, зношеність обладнання і розтягнутістю комунікацій. Три чверті шахт має вік більше 30 років. Кожна третя шахта небезпечна по

газовим викидам. Газоносність вугільних пластів досягає 40 м метану на тонну сухої беззолної маси. З кожною тонною вугілля з шахт, в середньому, відкачується 6 кубометрів води. У 2012 р середня глибина розробки наблизилася до 800м, а на окремих шахтах досягла 1600м. Протяжність підтримуваних виробок за період з 1994 до 2013р. знизилася до 11тис. км, що пояснюється зменшенням числа шахт і видобувних вибоїв. При цьому довжина виробок, що підлягають ремонту, зросла з 4581 км до 5892 км, а відсоток ремонтуваних виробок зріс з 30,1 до 53,4. На трудомістких ремонтних роботах зайнято понад 11% підземних робітників і понад 70% робітників, зайнятих на проведенні та підтримці виробок.

У зв'язку з ускладненням гірничо-геологічних умов підтримання, пов'язаних з відходом більшості шахт на глибину, збільшилася кількість ремонтуємих виробок (в 1996р обсяг ремонтних робіт - 5704км., В 1999р - 6021км). В результаті незадовільного стану кріплення, на шахтах України щорічно ремонтується близько 7 ... 15% всіх підтримуваних і більше 65% знову проведених виробок. При цьому дані цифри відображають не тільки обсяг ремонтуваних дільничних виробок, а й капітальних, стан яких в значній мірі визначає нормальну роботу як окремих блоків і горизонтів, так і всього технологічного комплексу шахти. На проведення ремонтних робіт витрачаються значні трудові ресурси. Роботи по підриві і перекріпленню проводяться часто по одним і тим же ділянках з певною періодичністю. Збільшення обсягів видобутку нерозривно пов'язане зі збільшенням протяжності підтримуваних виробок і проведенням нових капітальних і підготовчих гірничих виробок для відпрацювання нових горизонтів. Через складні гірничо-геологічні умови експлуатації значна частина підтримуваних виробок (від 20 до 60% загальної довжини) піддається ремонтам.

Вивчення стану капітальних і основних підготовчих виробок шахт України, а також аналіз витрат, пов'язаних з підтриманням і ремонтом гірничих виробок, показують, що найбільшу складність при підтримці

виробок в робочому стані являє боротьба з таким видом прояву гірського тиску, як пучіння порід підосви. Значна частина запасів Донбасу, розташованих на глибинах понад 600 метрів, залягає серед глинистих і піщанистих сланців [29]. Практика показує, що особливо значними властивостями для пучіння володіють саме ці породи. Зі збільшенням глибини розробки збільшується інтенсивність здимання і різко зростає трудомісткість і вартість робіт по ліквідації наслідків цього шкідливого явища.

Негативний вплив зазначеного фактора на стійкість виробок можна охарактеризувати тим, що протяжність ремонтів виробок з підриванням спучених порід ґрунту тільки на шахтах України сягає 2500 км на рік [29]. Якщо до цього додати, що рівень механізації робіт при підриванні підосви не перевищує 9%, в той час як при проведенні виробок з механізованим навантаженням вугілля і гірської породи він становить більше 80%, то стає очевидним, наскільки важливим є пошук ефективних методів боротьби з цим явищем. Забезпечення стійкості капітальних виробок в умовах прояву гірського тиску у вигляді видавлювання порід підосви є можливим при детальному вивченні особливостей процесу здимання порід з урахуванням узагальнення існуючих уявлень про фактори, що впливають на розвиток процесу.

Приклади підняття порід підосви наводяться в чисельних статтях українських вчених. Прикладом є дослідження Ісаєнкова О.О. рис. 1.17.

Також дослідження пучіння порід підосви наводяться в роботах Касьяна М.М., Бондаренко В.І., Шашенко О.О., Петренко Ю.А. і багатьох інших вчених.

Прикладом також є дослідження Родзіна С.О. рис. 1.18.



а)

б)

а) 10 збійка конвеєрного і грузового похилу пл. k_8 ш. ім. Димитрова (2015 р.);

б) квершлаг на пл. c_{18} ДП «Південно Донбаська №1» (2017р.)

Рисунок 1.17 – Перерізи порід підосви при веденні підривок відбійним молотком [30]



Рисунок 1.18 – Зрізи порід підосви в місцях ведення ремонту [31]

У вітчизняній науці, що є спадком радянської, підтримується кілька гіпотез, пучіння в гірничих виробках:

- набухання [32],
- збільшення обсягу внаслідок розпушення [32],
- випирання порід «з під штампа» стінок виробки [32];
- в'язка течія, сорбційне набухання [32] і т.д.

Перші три по суті не відрізняються від помирених у закордонній практиці уявлень.

Українським вченим ДонДТУ Г.Г.Литвинським, була розроблена інтегральна гіпотеза, яка пояснює причини пучіння, його механізми, форми. Ця інтегральна гіпотеза ґрунтується на аналізі механізму втрати стійкості в результаті розвитку руйнування підосви в приконтурній зоні [33].

Графічне уявлення варіантів розвитку пучіння, що пояснюється Г.Г. Литвинським на основі висунутої гіпотези наведено на рис. 1.19.

Аналіз досліджень процесу підняття порід підосви, проведених вітчизняними вченими вказує на те, що основним механізмом більшість вчених визнають руйнування порід, а вже вторинним набухання. Випадки, коли в підосві залягають міцні породи, нажалі у вітчизняних шахтах зустрічаються вкрай рідко. Хоча на підприємстві, що є об'єктом дослідження такі випадки виникали в минулому. Породи підосви при відпрацюванні блока №8 були представлені пісковиками. Проте проблеми значного пучіння там не було зафіксовано.

Таким чином, якщо прийняти в якості робочого варіанту гіпотезу пучіння порід через їх руйнування внаслідок зависоких напружень, що в принципі збігається з закордонними уявленнями, можна обрати раціональний варіант методу проведення дослідження.

Аналіз робіт українських вчених вказує на те, що у вітчизняній практиці математичне чисельне моделювання процесу підняття підосви також є дуже поширеним методом. Вчені ІГТМ НАН України, ДонНТУ, НТУ «Дніпровська політехніка», КПІ широко використовують математичне чисельне моделювання для дослідження проблем стійкості.

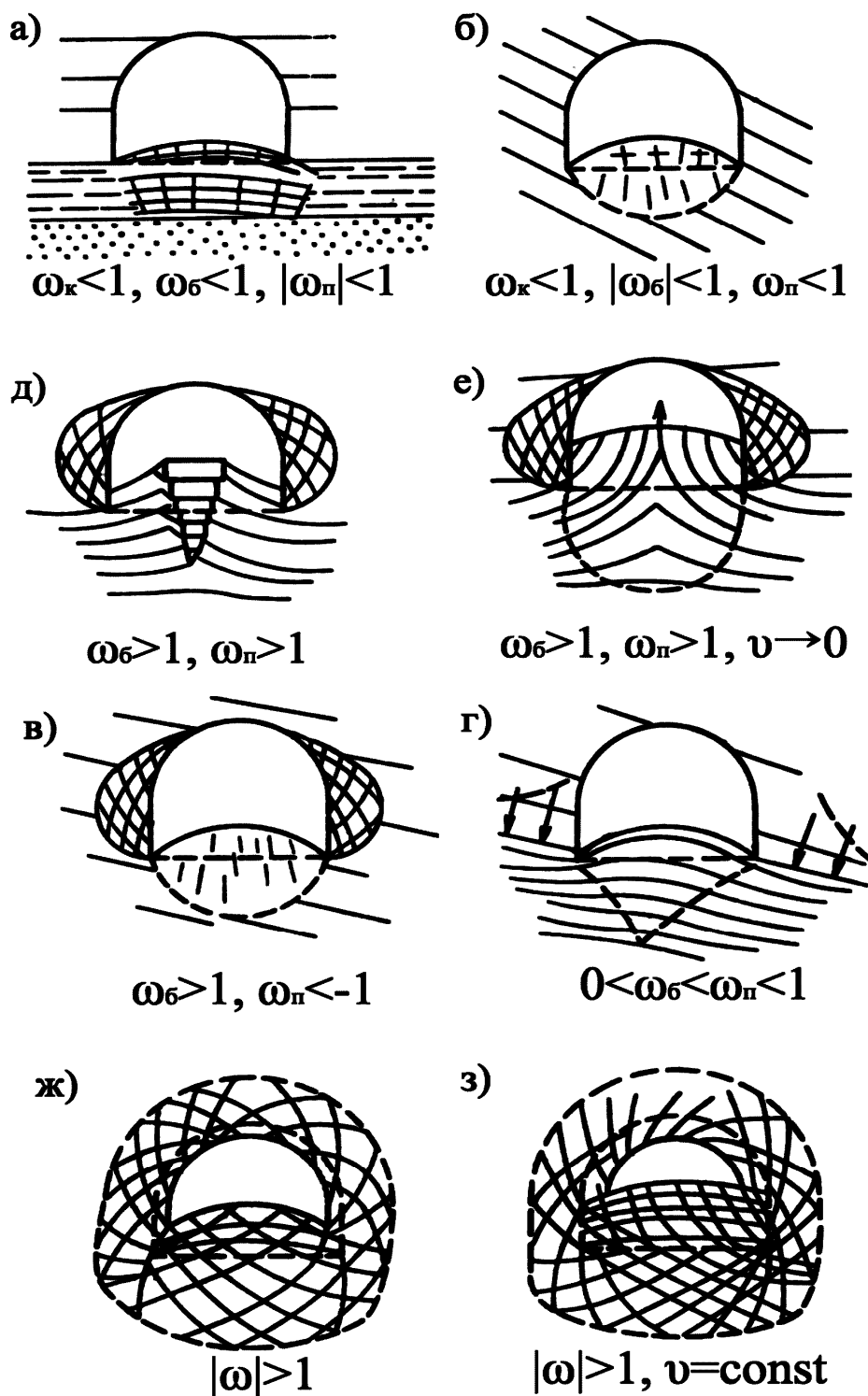


Рисунок 1.19 – Механізми видавлювання порід по Г.Г. Литвинському [33]

а) набухання; б) набухання з розмоканням одночасно; в) розмокання з подальшим набуханням; г) видавлювання «з - під штампа» боків виробки; д) поздовжньо-поперечний вигин; е) вязкопластическе підняття; ж) формування зони не пружних деформацій; з) в'язке течіння при наявності вологи

При цьому під час моделювання використовуються переважно континуальні моделі. В першу чергу це метод кінцевих елементів. Тому, враховуючі вітчизняний досвід доцільно обрати в якості метода дослідження метод кінцевих елементів.

2. АНАЛІЗ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Магістерська робота виконується для умов ш/у Покровське. Тому нижче наведено основні показники цього гірничого підприємства.

Відомості про підприємство ПРАТ «ш/у «Покровське»

ПР АТ «Ш /У Покровське» сьогодні є об'єктом власності групи Метінвест (Metinvest). Підприємство побудовано за розробленим проектом організації «Донгіпро шахт» й введено в експлуатацію у 1990р.

Запланований строк роботи підприємства по проекту з затвердженими запасами 102млн. тон при річній потужності 2,1 мільйонів тон вугілля мав бути приблизно 60років. Проте фактичний видобуток останні десятиліття перевищував, іноді в декілька разів запланований рівень. Наприклад у 12-13 рр. фактичний видобуток був 8 млн, а в 14 році – близько 6 млн т. Перша черга роботи підприємства в запланованих запасах вже відпрацьована. Зараз ведеться розробка вугілля в 10 і 11 блоках, проектується блок 12.

Шахтоуправління відпрацьовує весь період роботи лише один пласт. За умовами відпрацювання підприємство належить до категорії «надкатегорна», не безпечна по раптовим викидам, пісковики віднесені до небезпечних за викидами з глибини 600 м.

На підприємстві є проблема забезпечення необхідного обсягу проведення і підтримання експлуатаційного стану виробок.

Географія ПР АТ «ш/у «Покровське».

Ділянка підприємства має локацію у Вовчанському підрайоні Південно - Донбаського вуглерайону. Віднесена до Покровської ОТГ. На поверхні ділянки знаходиться селище Удачне (в центральній частині ділянки), а також п.г.т: Шевченко, Солоний, Нововасилівка, Успенівка, Олександрівка.

Через проекцію ділянки ш.п. в західно-східному напрямку проходить ж/д магістраль, з м. Київ і одноколійна ж/д лінія Покровськ–Павлоград–Дніпро.

Морфологічно шахтне поле є рівниною, яка нахилена у південно-західному напрямі до річки Солона. Довжина її -3,0 км. Устя річки біля с. Михалівка, яке знаходиться на відстані 1,2км західніше шахти «Котляревська». Солона потікає майже в широтному напрямі і впадає в р. Вовча. Загальна довжина 70км [34].

Клімат району розташування підприємства-помірно-континентальний, з різкими коливаннями температури і невеликими опадами. Найвища позитивна температура повітря спостерігається в липні (+38°), найнижча – у січні (-28°). Для району характерні короткі зими. Сніжний покрив близько 0,2 м у січні та лютому. Глибина підмерзання ґрунту не перевищує 1,0 м. Взимку спостерігаються відлиги [34].

Геологія гірничого підприємства.

Поле складено породами світ C_1^4 і C_2^0 , покритими утвореннями неогеного і четвертинного віків [34].

Кайнозойські відкладення поширені суцільним покривом і представлені суглинками і глинами. Потужність кайнозойських відкладень змінюється від 0 до 59 м, переважно 20-30 м. Ці відкладення перекриті ґрунтовим пластом 0,30 - 0,70 м [34].

Відкладення неогенового віку на більшій частині площі представлені тонкозернистими пісками від 0 до 38 м., переважно 15 - 25 м. У нижній частині піски обводнені і здатні до опливання. Вище пісків подібно сланцям залягають сарматські суглинки і глини, що іноді переходять у супіски. Потужність сарматських відкладень 4 -11м [34].

Відкладення нижнього карбону свити C_1^4 представлені від вапняку (Петропавлівського) D_4 до вапняку E_1 і складені пластами піщаників, що переміщаються, сланців піщаних і сланців глинистих, що уміщують вугільні пласти; переважають сланці піщані і піщаники. Вапнякових пластів у ґрунті міститься до 21, вугільних прошарків-до 27. За загальним літологічним характером вся товщина досить однотипна. Лише в інтервалі вапняків майже немає вугільних пластів, а в нижній частині відсутні могутні товщі піщаників [34].

Свита C_3 представлена сланцями піщаними, глинистими піщаниками, вапняками і вугіллям. У цій товщі вугільні пропластки малопотужні і невитримані як за потужністю, так і за поширенням. Переважають у підосві піщанисті породи - сланці піщані і піщаники. У тектонічному відношенні поле шахти розташоване в центральній частині геолого-промислового району між Котлинським насувом на сході і Криворізько-Павловським скидом на заході. Площа ділянки являє собою дуже пологоу антиклінальну складку [34].

Промислова вугленосність підприємства пов'язана з отложеннями світ C_1^4 та C_1^5 нижнього карбону. З 27 вугільних пропластків, що є в цьому полі, тільки пласт d_4 має витриману робочу потужність на всьому полі. На окремих ділянках робочої потужності досягає пласт d_6^1 . Потужність інших прошарків не більше 0,40 м. Пласт d_4 характеризується простою і складною будовою. Загальна потужність пласту коливається від 0,75 до 1,90 м, рідко до 2,00. Характерна потужність пласту для північної половини поля - 0,90 м, для південної - 1,50 м [34].

У західній і південній частинах поля пласт складається з двох пачок. Потужність верхньої пачки змінюється від 1,00 м до 1,40 м, нижньої - від 0,05 до 0,55 м. На окремих ділянках обсяг прошарків настільки значний, що нижня пачка через високу зольність втрачає промислове значення [34].

Місцями потужність окремих прошарків сланцю в цілому зростає від 0,03 до 0,04 м, розщеплюючи пласт на дві, рідше на три і чотири вугільні пачки: верхню потужністю 0,55-1,65 м, середню -0,10-0,20 м і нижню - 0,10-0,35 м. У західній частині поля також спостерігаються різкі коливання не тільки потужності, але й будови пласту на досить коротких відстанях (300-500м). Потужність пласту змінюється від 0,80-0,90 м до 1,90-2,00 м, будова - від простого до складного:- двох, трьох і чотирьох пачкового. [34].

Вугілля пласту d_4 коксівне, марки ГЖ і частково ОС. На всій площі поля вугілля містить мало сірки, в середньому 0,8 %. Зольність пласту коливається і поступово збільшується від центру до периферії. Вугілля шахти є кошовною сировиною для коксування [34].

Характеристика пласта d_4 і порід, які його вміщують.

Підприємство відпрацьовує виключно пласт d_4 .

Бічні породи пласта d_4 в шахтному полі переважно пісковики, алевроліти й аргіліти, як і в більшості вугільних пластів Донбасса. При потужності до півметра алевроліти й аргіліти не устійчиві, схильні до формування «ложної» покрівлі. У зонах тектонічних порушень і підвищеної тріщинуватості можливі вивали порід покрівлі висотою до 4 - 6 метри [34].

3. ШАХТНИЙ СПОСІБ ПРОВЕДЕННЯ І КРІПЛЕННЯ ШТРЕКІВ НА ПРИКЛАДІ 7 ПІВН. КОНВ. ШТРЕКУ БЛ. 10

Вугільний пласт d_4 має і просту і складну будову. Прослойки представлені алевролітами. Потужність на оцінюваній ділянці 0,96-2,32 м. Між пікетами 62та64 очікується диз'юнктивне порушення – скид з $A = 1$ м, що вже розкритий іншими північними лавами бл. №10 [35].

Підвищений водоприток прогнозується в розмірі 4-5 куб. м в годину. Збільшення водопритоку прогнозується при підроботці геологічних свердловин №3659, 4307, 4288, 4325. Накопичення води найбільш ймовірно в ділянках пониженого профілю. Склад води в 7 півн. конв. штреці бл. 10 хлоридно-натрієвий з мінералізацією 16.5-28.3 г/л, жорсткі, надагресивні до сталі.

Природна метаносність пл. d_4 - 10,0 – 15,0 м³/т.с.б.м.

Підвищені метанопритокі прогнозуються в зонах тектонічної порушеності.

Викопіровка з плану, з інформацією по породам, представлена на рисунці 3.1. Відоме явище падіння міцності порід при водонасиченні. Прогнозоване зниження міцності - 40 відсотків відносно сухого. Вказане впливає на час руйнування порід в підшві і, відповідно, пучіння внаслідок руйнування порід.

Структурна колонка для описуваної частини поля наведена на рис. 3.2.

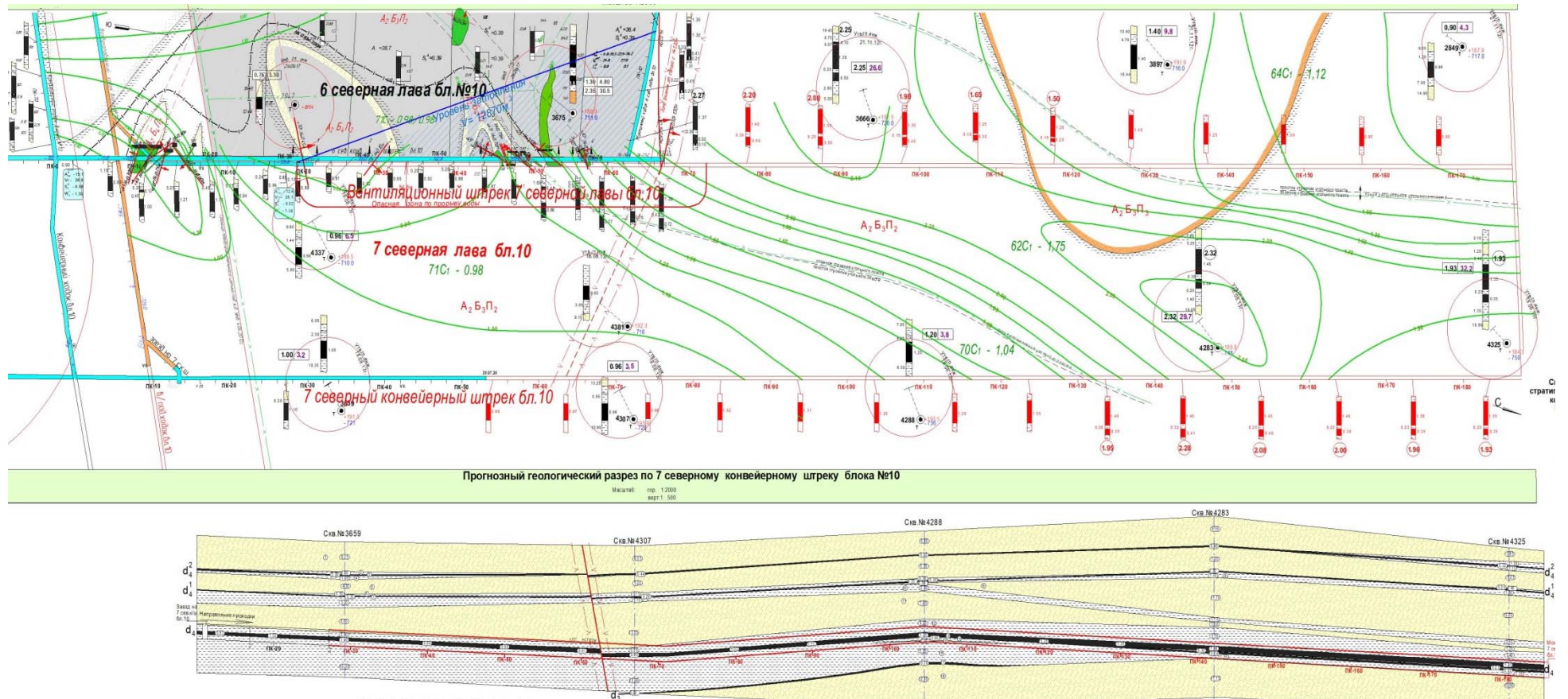


Рисунок 3.1 – Викопіювання з плану гірничих виробок ділянки 4 південної лави бл. 10.

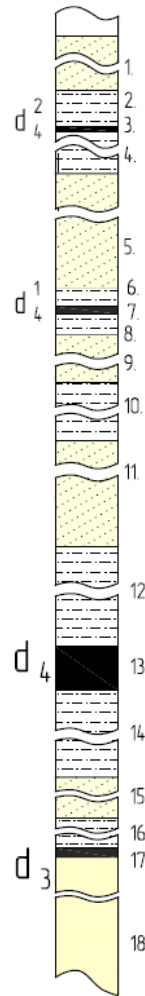


Рисунок 2.2 – Стратиграфічна колонка пласта

Характеристика структури порід наведена в таблиці 3.1. Відповідно до гірничо-геологічної оцінки породи підосви відносяться до схильних до пучіння. Особливо небезпечними зонами є зони потенційних водопритоків.

Кріплення підосви за шахтним паспортом не проводиться. Це загальний підхід до проведення і підтримання всіх штреків на шахті.

Проведення 7 півн. конв. штреку бл. 10 ведеться комбайном КСП - 42 М, з навантаженням породи ППЛ з підкиданням її лопатами на стрічковий телескопічний конвейер 1ЛТП-1000. Штрек має $S_{пр} = 23,7 \text{ м}^2$, форма кріплення шатрова, профіль КШПУ-20,3, крок установки рам - 0,65. Тип затяжки боків і покрівлі- сітка. Підосва не закріплена [35].

Таблиця 2.1 Літологія 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-т розриву
				видима	дійсна		на стиск		на розрив	
							в природному стані	після вдово-насищ.		
1.	3.95-8.55	Пісковик – дрібнозернистий, кварцовий, слюдистий, 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, слюдистий, з тонкої и грубої, горизонтальної и хвилястої шаруватістю за рахунок прошарків пісковика мілкозернистого, с відбитками вуглефікованої флори. Контакт видимий, зчеплення в контактї 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, слюдистий, з тонкої и грубої, горизонтальної и хвилястої шаруватістю за рахунок прошарків пісковика дрібнозернистого, з відбитками вуглефікованої флори. Контакт видимий, зчеплення в контактї слабе.	108-150	2.56-2.58	2.8	-	428	358	-	0.91
5.	4.30-7.00	Пісковик – дрібнозернистий, кварцевий, слюдистий, на глинистому цементі, сірого кольору, тріщиноватий, 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, слюдистий, з тонкою і грубою, горизонтальною і хвилястою шаруватістю за рахунок прошарків пісковика дрібнозернистого, з відбитками вуглефікованої флори. Контакт видимий, зчеплення в контактї слабе.	108-150	2.56-2.58	2.8	-	428	358	-	0.91

Продовження табл. 2.1

7.	0.28-0.40	Вугілля d_4^1 – чорний, напівблискучий, сильнозобруднений сланцем, рихлий.	–	129	135	–	100-150	–	–	–
8.	0.00 – 1.70	Алевроліт – темно-сірий, слюдистий, с тонкої и грубої, горизонтальної и хвилястою 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 т. на 1 п.м). Контакт з нижчерозташованим шаром чіткий, зчеплення між шарами слабе. Міцний	181-255	242-250	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 (8-15тр. на 1 п.м.) На площинах видна вертикальна підвижка. 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-вуглистої матеріалу, рідше мілких лінзочек і одиничного прошарка сланця піщаного, плитчастий товщина плиток до 1 см, стінки нерівні, шереховаті, тріщинуваті, тріщини різної орієнтовки (15-20 м на 1 п.м). По шару рідко зустрічаються дрібні лінзочки сіверита. В кінці шару 1,5м пісковики нешаруваті. Контакт з нижчерозташованим шаром видимий, чіткий, зчеплення між шарами слабе. Міцний	181-255	242-250	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 (8-15тр. на 1 п.м.) На площинах видна вертикальна підвижка. 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. 2.1

13.	0.96-2.32	Вугілля d_4 – чорне, напівблискуче, 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 спігмарій, середньої міцності. Контакт видимий чіткий, зчеплення з нижчеразташованим шаром середнє.	108-151	256-258	-	5.36	115-525	61-509	57	-
15.	0.00 – 0.30	Пісковик – дрібнозернистий, кварцевий, слюдістий на глинистому цементі, сірого кольору, горизонтально – і хвилястощаруватий за різниці слюдісто-вузлистого матеріала. Контакт видимий, чіткий зчеплення з нижчеразташованим шаром середнє. Міцний	180-2.55	240-2.50	2.70-2.72	8.60-11.0	690-845	520-680	-	-
16.	1.35-10.90	Алевроліт – нешаруватий, з відбитками вузлефікованих спігмарій, середньої міцності. Контакт видимий чіткий, зчеплення з нижчеразташованим шаром середнє.	108-151	256-258	-	5.36	345-510	61-509	57	-
17.	0.20-0.78	Вугілля d_3 – чорне, напівблискуче, тонкополосчасте, злам нерівний, середньої міцності, простої і складної будови .	120-2.70	129	134	-	100-150	-	-	-
18.	0.0 – 9.60	Пісковик – дрібнозернистий, кварцевий, слюдістий на глинистому цементі, сірого кольору, горизонтально – і хвилястощаруватий за різниці слюдісто-вузлистого матеріала. Контакт видимий, чіткий зчеплення з нижчеразташованим шаром середнє. Міцний	180-2.55	240-2.50	2.70-2.72	8.60-11.0	-	-	-	-

Розмокання підшви також призводить до пробуксовки комбайна. У випадках, коли є пробуксовка гусениць, допускається буріння ріжучою коронкою (згідно Керівництва по експлуатації КСП-43; в разі, якщо в забої слабка підшва, що не допускає пробуксовки гусениць, то буріння необхідно проводити, використовуючи телескопічну розсувні стріли виконавчого органу з установкою комбайна на гідроопори [35].

Виймка пласта проводиться першочергово наступним чином:

- забурювання, втяжка телескопу, підняття гідро опори, під'їзд до вибою таким чином, щоб ріжуча коронка опинилась в вибуреній ніші;
- комбайн на гідро опорах, живильник притиснутий до підшви, передні катки ходової злегка дотикаються до;
- виймання пласта по ширині штреку на глибину 0,65 м з встановленням комбайна на гідроопори;
- виймка пласта ще на 0,5, телескопічною розсувною стрілою;
- після виймки пласта (не > 2 м), починається виймання порід з умовою незниження випередження вугільного вибою не менше 0,5 м до породному [35].

Схему і порядок обробки вибою комбайном МГВМ вибирає залежно від міцності породи, стану покрівлі та підшви виробки, наявності твердих включень колчедана і сидерита. При різній міцності породи на початку руйнується слабша. Оконтурування виробки проводиться відповідно до параметрів, зазначеними в паспорті кріплення, не допускаючи перевищення її розмірів більш ніж на 10% [35].

При підході до викидонебезпечних пісковику ближче 2,0 м проводиться виймання пласта по всій ширині штрека на глибину 0,65 м і далі за наведеною вище послідовністю. Обробку вибою починають зі створення врубу в нижній частині виробки з боку машиніста [35] Якщо міцність порід в перерізі перевищує 120 МПа, роботи по проведенню вироблення вести за допомогою буро підливних робіт [35].

Кріпленням займається ланка прохідників з 6 робітників в такій послідовності [35]:

1. Після закінчення виїмки, відгона комбайна, його відключення, перебуваючи в закріпленій частині штреку під прикриттям постійного кріплення, 3 прохідника за допомогою оборнику довжиною 3,5 м прибирають шматки породи. У разі виявлення будь-яких недоліків установки в попередніх рамах (ослаблена стійкість рами, погана забутовка та т.п.) їх усувають і тільки після цього приступати до установки нового кріплення;

2. 2 прохідника ставлять тимчасове кріплення (2 дер. стійки під розпил);

3. 3 прохідника ставлять робочий полок;

4. Під захистом тимчасового кріплення 6 прохідників ставлять ніжки кріплення, приєднують бічні міжрамні стяжки до раніше встановленої рамикріплення;

5. 2 прохідника демонтують тимчасове кріплення;

6. 3 прохідника підіймають верхняк на робочий полок;

7. 3 полка 3 прохідника заводять верхняк на ніжки так, щоб нахлест був 400мм і кріплять замками з ніжками;

8. 2 прохідника затягують затяжкою покрівлю виробки з робочого полка, після попереднього розклинювання і розпора, згідно затвердженого паспорта кріплення;

9. 3 прохідника з підосви штреку затягують боки [35].

Паспорт зображений на рис. 3.3.

Як вже зазначалось вище проблемою при проведенні виробки є підняття порід підосви, яке носить періодичний характер і приурочене зазвичай до підвищених водопритоків.

Боротьба з пучінням на підприємстві ведеться по факту виникнення цього вища. Тобто є боротьба лише з наслідками шляхом підбивки порід.

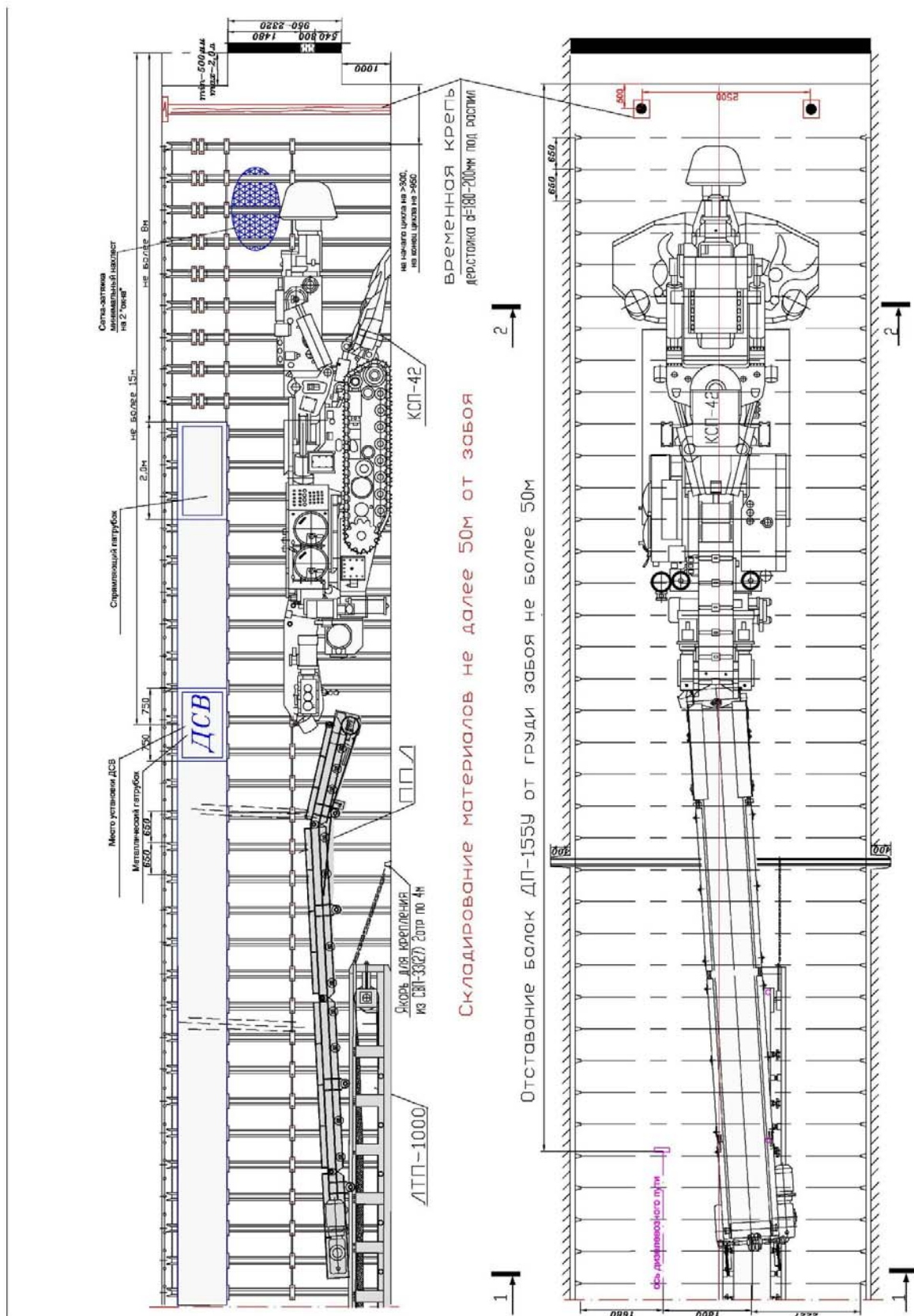


Рисунок 3.3 – Паспорт проведения і кріплення виробки

Условные обозначения:

1. Участковый водосборник.
2. Насосная группа (рабочий, резервный).
3. Задвижка отсекающая (регулирующая).
4. Обратный клапан.
5. Всасывающий трубопровод Ф150 мм с приемным клапаном.
6. Передвижная забойная насосная группа
7. Всасывающий трубопровод забойных насосов с обратным клапаном.
8. Задвижка отсекающая.
9. Манометр.

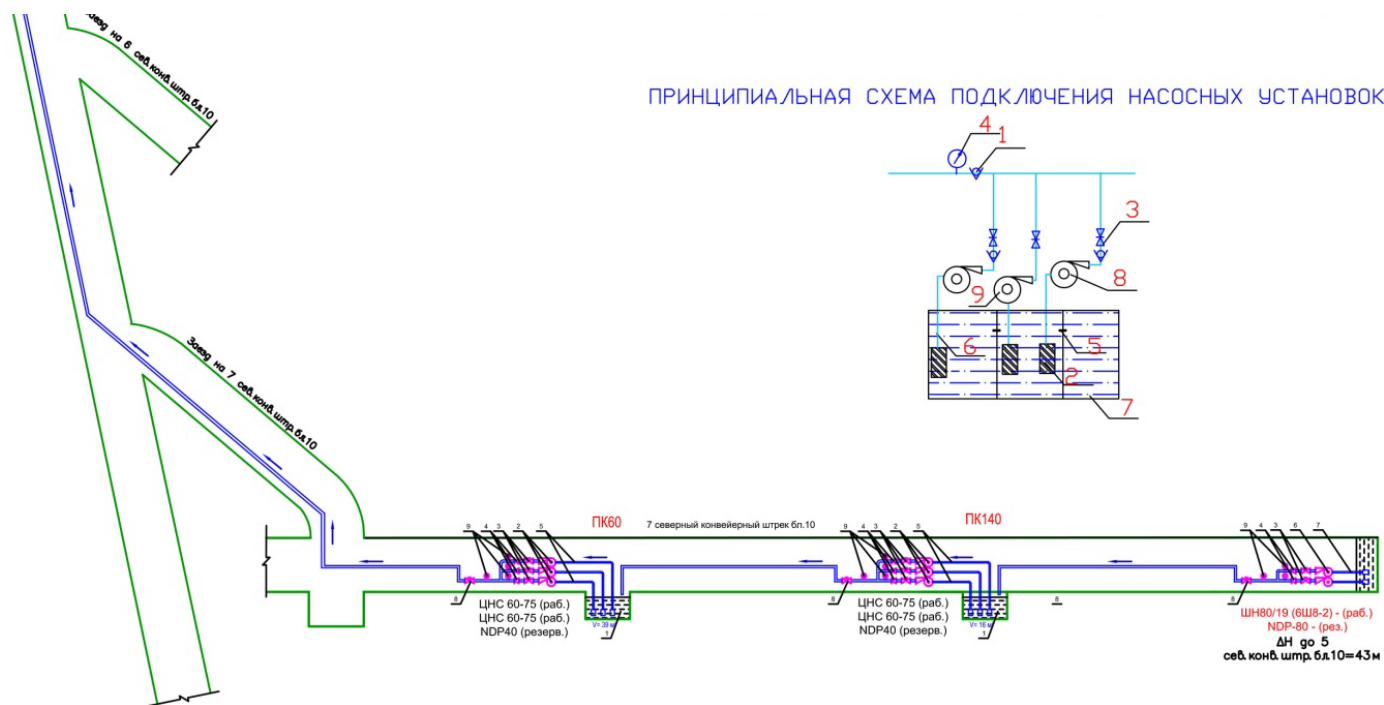


Рисунок 3.4 – Схема водовідведення

Підrivка ведеться як вручну відбійними молотками так і породопідривочними машинами ковшового типу. Опосередковано боротьба з пучінням ведеться шляхом водовідведення. Для цього впроваджено схему водовідведення з водозбірників $V=16\text{ м}^3$ на пікеті №140 м і $V=39\text{ м}^3$ (рис. 3.4) на пікеті №60, з змонтованими насосами ЦНС-60/75 (NDP-40). В вибої виробки знаходиться пересувна насосна група з насосів ШН-80/19 (6 Ш-8/2) і NDP – 80 (рис. 3.4).

Водовідведення не вирішує проблему зниження міцності порід при розмоканні. Тому пучіння за рахунок цього фактору не стримується.

Обстеження конвеєрних штреків показують, що пучіння носить в просторі періодичний характер. Величина пучіння також різна, від 20-30 см до 80-90 см.

Тому актуальним є завдання пошуку шляхів боротьби з підняттям порід підосви в підготовчих виробках.

Кріплення з лежнем в підосві, зворотним склепінням, кільцеві конструкції довгий час здавалися найпростішим і логічним рішенням. Однак з переходом гірничих робіт на великі глибини ефективність замкнутих конструкцій кріплення сильно знизилася. У зонах впливу очисних робіт ці елементи деформувалися, руйнувалися і разом з породами підоршви видавлювалися в виробки. Зараз кріплення кільцевого типу або зі зворотним аркою застосовуються в основному в капітальних виробках [36, 37].

Для зниження напружень на контурі виробки застосовуються різні способи розвантаження порід. Розвантаження забезпечується створенням штучних порожнин в підосві і боках виробки або підриванням камуфлетних зарядів вибухової речовини. Порожнинами можуть бути: канави, свердловини або щілини (рис. 4.2).

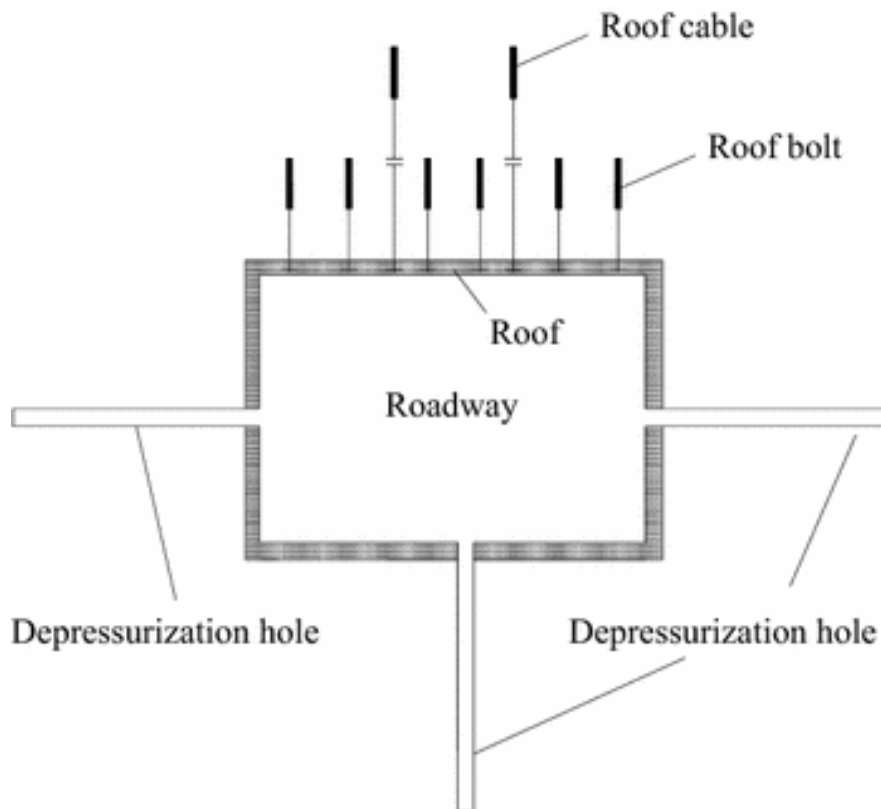


Рисунок 4.2 – Розвантажувальні свердловини навколо виробки

Канавки для зниження тиску (Pressure relief groove) споруджуються в підосві з одного боку виробки або з двох сторін [38]. Для спорудження розвантажувальних щілин (Depressurization hole) застосовується, як правило,

буропідривний спосіб. Щілини розташовують, як правило, в центрі прольоту виробки, а їх глибина значно більше, ніж у канав і досягає декількох метрів [38]. Свердловини можуть буритися і в підшви, і в боки виробки.

У вітчизняних шахтах розвантаження підшви, як спосіб боротьби з пучінням, практично не застосовується. Хоча в 70-80-ті роки минулого століття такий спосіб використовувався на вітчизняних шахтах. Це пояснюється технічною складністю і обмеженим за часом ефектом розвантаження. Це суттєво знижує ефективність цього способу боротьби з пучінням на великих глибинах, притаманних сучасним шахтам.

Найсучаснішим способом боротьби з пучінням є зміцнення підшви. Зміцнення виробляють як з попередньою підривкою порід і заміщенням вибитої породи в'язучим розчином, так і без підривання шляхом нагнітання в'язучих сумішей в тріщинуваті породи підшви або їх зміцнення анкерними болтами.

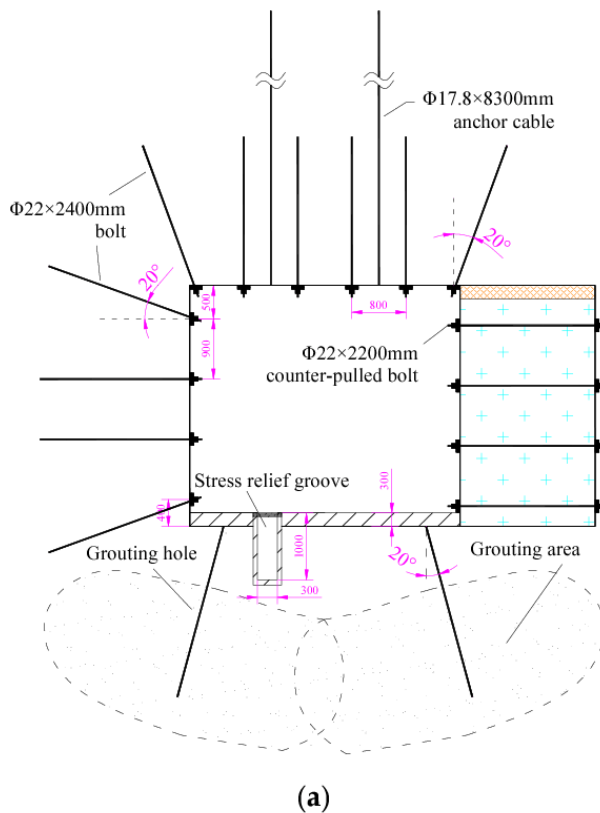


Рисунок 4.3 – Спосіб зміцнення підшви нагнітанням

Після зміцнення в підосві створюється штучна балка [39,40] або склепіння [41, 42].

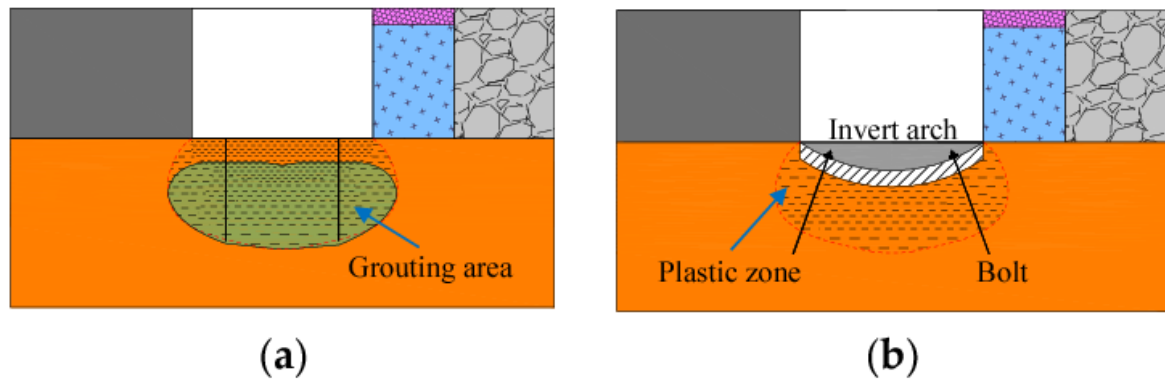


Рисунок 4.4 – Зміцнена зона, що формує балку (а), і зворотнє склепіння (б) в підосві виробки

Зміцнення є найбільш ефективним способом в виробках, що знаходяться в зонах впливу гірничих робіт, і таких, що підтримуються на межі з виробленим простором (як вказано на рис 4.4).

Однак у цього способу є також багато недоліків. Основні недоліки цього способу - висока вартість реалізації і висока жорсткість створюваних конструкцій поки не подолані. Через низький поріг допустимих деформацій опорної конструкції створюваної в ґрунті, в зонах підвищеного гірського тиску відбувається її руйнування. Необхідну податливість забезпечують способи зміцнення порід підосви виробок анкерами (рис. 4.5) [43]. Однак, оскільки породи підосви в зонах впливу гірничих робіт не є монолітними, ефективність їх кріплення анкерними болтами низька. У зонах впливу лави ступінь руйнування порід підосви може бути такою, що окремі породні фрагменти мають розміри від декількох сантиметрів до десятків сантиметрів. До того ж для глинистих порід і аргілітів в присутності води характерні пластичні деформації які зводять ефект зміцнення анкерами до мінімуму.

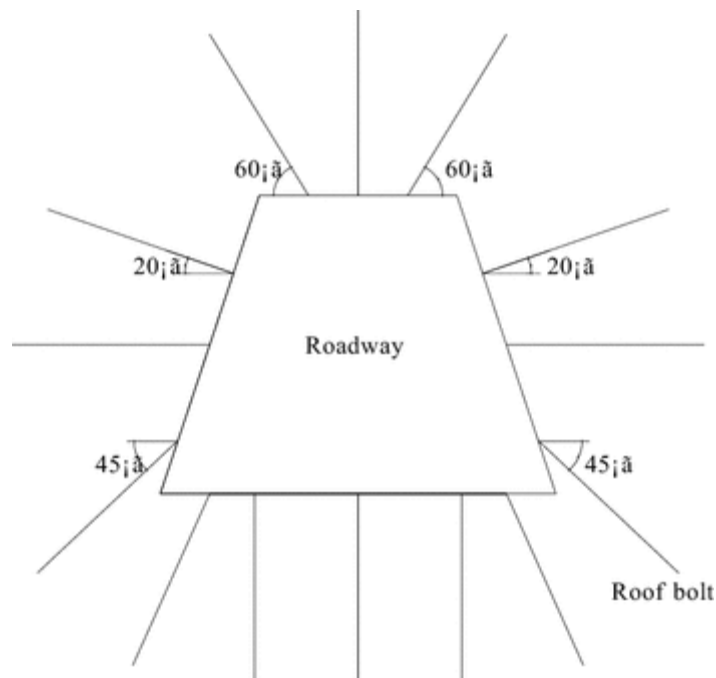


Рисунок 4.5 – Зміцнення порід підосви виробок анкерами

Таким чином, проведений аналіз свідчить про те, що сьогодні найперспективнішим способом боротьби з пучінням порід у виробках схильних до впливу гірничих робіт є їх зміцнення. При цьому зміцнення шляхом нагнітання в'язучих розчинів і закачування цементів в породи підосви мають більшу перспективу, оскільки можуть використовуватись в будь-яких умовах, навіть при породах низької міцності і схильних до розмокання і втрати внаслідок цього несучої здатності. В останньому випадку в світовій практиці використовується спосіб зміцнення після виймання слабого шару порід. Фактично вийнятий шар слабкої підосви замінюється шаром бетону.

Тому в роботі пропонується обрати цей спосіб боротьби з підняттям підосви як основний.

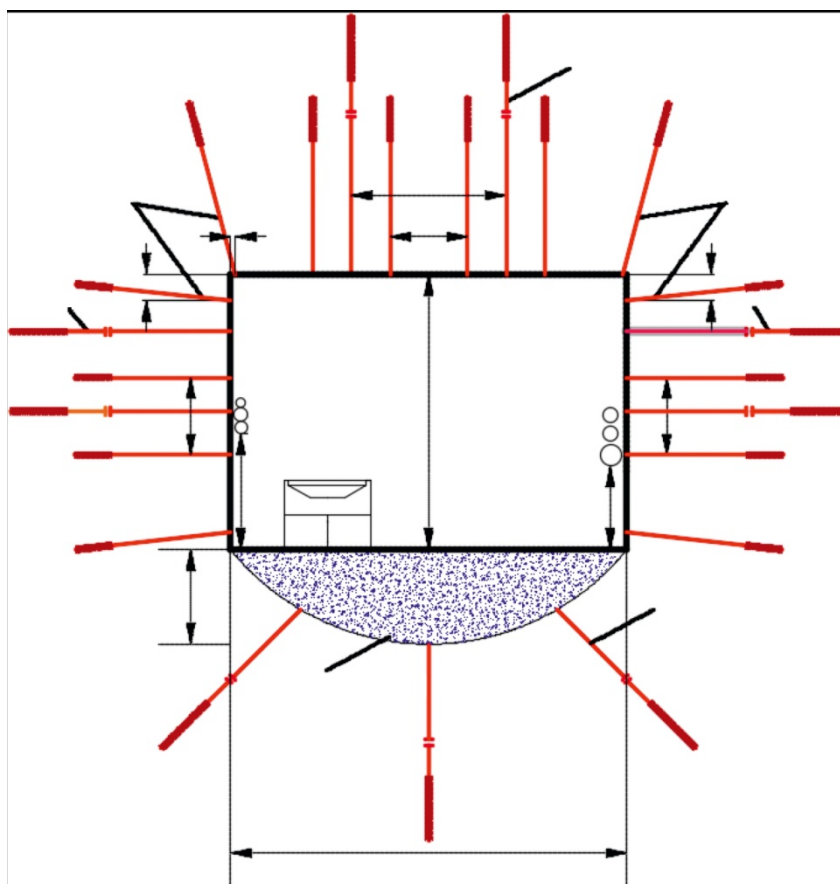


Рисунок 4.6 – Зміцнення порід підосви після підридки порід

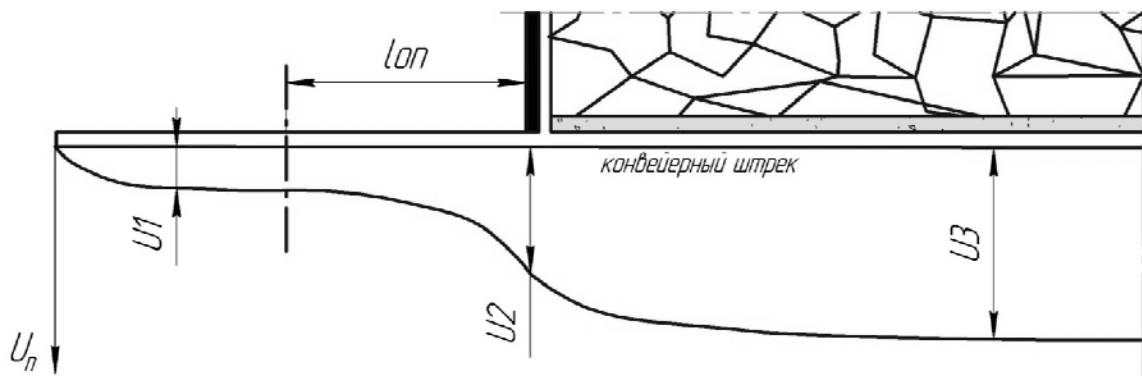
На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що вдосконалення способів зміцнення підосви зазначених гірських виробок, з метою подолання перерахованих вище недоліків, є актуальною задачею.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ БОРОТЬБИ З ПІДНЯТТЯМ ПОРІД ПІДОШВИ В УМОВАХ Ш/У «ПОКРОВСЬКЕ»

5.1 Методика дослідження

Дослідження, описане в роботі, спиралося на позиції механістичного підходу до проблеми пучіння підосви. Процес пучіння розглядався як результат механічних взаємодій і еволюції напружено-деформованого стану масиву в околиці гірничої виробки без фізико-хімічних перетворень в структурі порід.

Аналіз зсувів контуру підготовчих виробок, які обслуговують лави, а також виробок, що потрапляють в зону опорного тиску, показує, що пучіння підосви на етапі проведення виробки в 2-4 рази менше, ніж в зоні впливу гірничих робіт. При цьому фракційний аналіз порід при підривіці підосви в виробках, підтримуваних в зоні опорного тиску, дозволяє зробити висновок що, як правило, породи представлені блочно-дискретним середовищем [6]. Відомо, що в цих умовах навколо виробки вже сформувалася зона зруйнованих порід (ЗРП) і найбільш вірогідний механізм здимання - за рахунок видавлювання зруйнованих порід, що знаходяться в межах ЗРП в порожнину виробку, що викликається зростанням зони руйнування порід навколо виробки під впливом наближається фронту лави. Саме тому в таких умовах способи боротьби з пучінням, засновані на розвантаженні порід не є ефективними. Схематично динаміка пучіння порід підосви в підготовчій виробці в зоні впливу однієї лави, і відповідне зростання розмірів ЗРП, представлені на схемі (рис. 5.1).



U_1 - максимальне підняття підосви при проведенні виробки в незайманому масиві, мм; U_2 - максимальне підняття підосви в зоні випереджаючого опорного тиску, мм; U_3 - максимальне підняття підосви виробки за лавою, мм; $L_{оп}$ - зона випереджаючого опорного тиску, м.

Рисунок 5.1 – Характерна крива зсувів порід підосви в підготовчій виробці

Таким чином, в зоні впливу гірничих робіт пучіння порід розвивається в умовах коли вже сформувалася навколо виробки зона непружних деформацій і зона зруйнованих порід. Що дозволяє в першому наближенні вважати коректним при постановці завдання враховувати наявність зазначених зон.

У роботі в якості основного методу досліджень використовувалося математичне моделювання, яке було реалізовано в програмній системі кінцево-елементного аналізу Ansys. Доцільність такого рішення обґрунтовується в попередніх розділах магістерської роботи.

Моделювання проводилося в об'ємній постановці в натуральному масштабі. Враховувалися геометрична і фізична нелінійність, характерні для задач гірничої геомеханіки. Тому чисельний аналіз виконувався ітераційним методом Ньютона-Рафсона. При вирішенні застосовувався стандартний метод симуляції напружено-деформованого стану масиву поблизу різних

гірничотехнічних об'єктів з використанням принципу суперпозиції сил. Завдання вирішувалася покроково в статичній постановці. Аналіз результатів моделювання проводився на підставі обробки отриманих в процесі чисельного розрахунку напружень. В якості робочих гіпотез були прийняті перша і енергетична теорії міцності.

Відповідно до наведеного вище підходу, була створена кінцево-елементна модель (рис. 5.2).

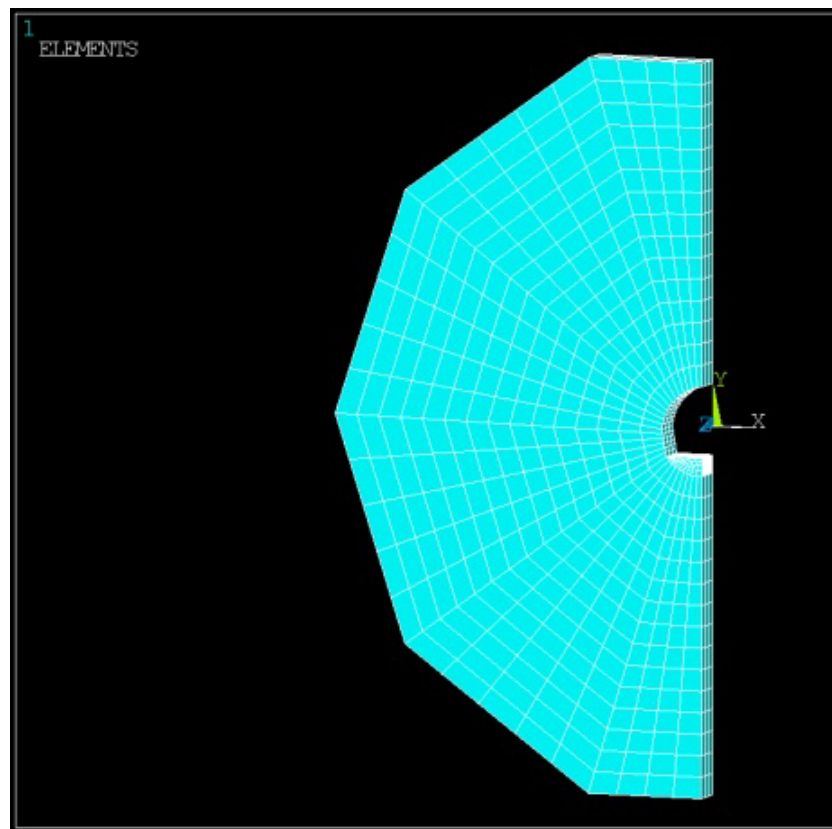


Рисунок 5.2 – Загальний вигляд математичної моделі розбитої на кінцеві елементи

Моделювався штрек, навколо якого була розрушена порода. Несуча здатність кріплення була прийнята 600кН і симулювалась розподіленим опором по площі покрівлі і боків, оскільки на даному етапі можна вважати,

що кріплення працює піддатливо в режимі заданого опору. Руйнування порід на контурі зони руйнування призводить до зростання тиску на контурі зони. У моделі цей процес симулюється зростанням зовнішнього тиску на контур зони. Тиск прийнято рівномірно розподіленим по контуру. В результаті перерозподілу напружень всередині ЗРП відбувається переміщення масиву в напрямку контуру виробки, що проявляється в її підшві у вигляді пучіння.

Задача прийнята осесиметричною. Моделювався ізольований обсяг породного масиву в межах ЗРП, оскільки в рамках розв'язуваної задачі процесами на контакті області пружності і зони непружних деформацій можна знехтувати. Для моделювання поведінки гірських порід використовувалася пружнопластична деформаційна модель, заснована на використанні рівняння стану Друкера-Прагера (побудована на наближенні до закону Мора-Кулона у вигляді конічної поверхні).

Адекватність деформаційної моделі встановлена шляхом імітаційних експериментів. З огляду на допустимий рівень точності для розв'язуваної задачі, прийнята деформаційна модель не вимагала додаткового калібрування. Властивості порід в межах зони непружних деформацій наведені в табл. 5.1. Рішення задачі передбачало локальне зміцнення масиву. Зміцнена зона моделювалася згідно із заданими параметрами, які представлені нижче.

При моделюванні враховувалося також тертя між зміцненою зоною і масивом, шляхом зміни коефіцієнта тертя по площинах контакту. Деформаційні властивості масиву в зміцненій зоні при моделюванні змінювалися: модуль пружності варіювався між 5 108 Па и 5 109 Па, коефіцієнт Пуассона знижувався до 0,15 (табл. 5.1). Вплив вологості на механічні властивості порід в розглянутій задачі не враховувався.

Таблиця 5.1 Вихідні дані для чисельного моделювання

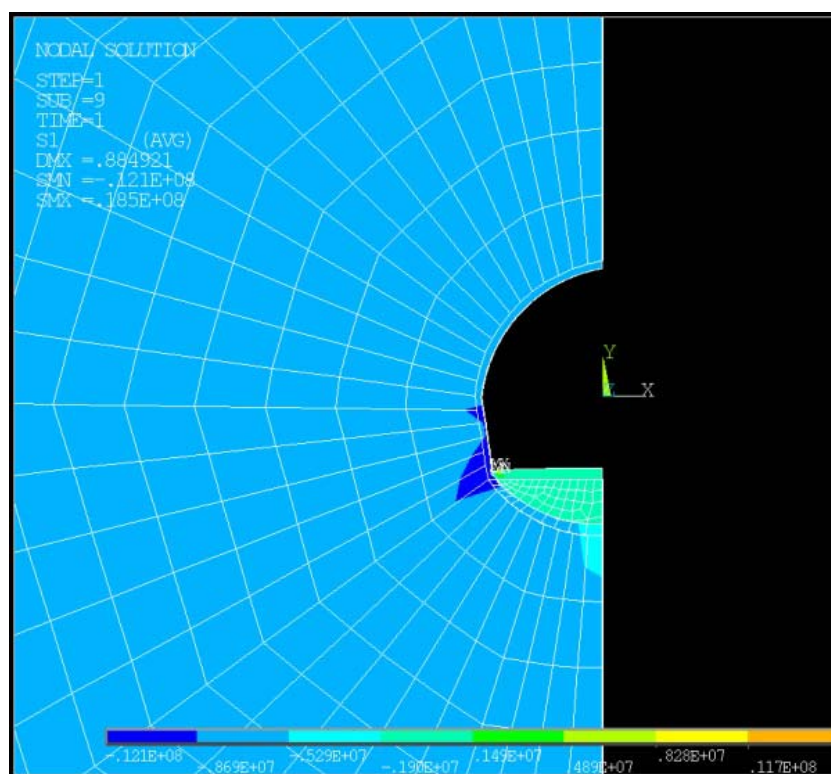
№ п/ п	Щільність, кгс/ м ³	Модуль пружності, МПа	Коефіцієнт Пуассона	Кут внутрішнього тертя, град	Кут ділята нсії, град	Зчеплення, кПа
Породи навколо виробки						
1	2500	500	0,3	35	33	95
Породи в межах зміцненої області						
2	2500	500-5000	0,15	35	33	95-950

5.2 Чисельний аналіз локального зміцнення підосви

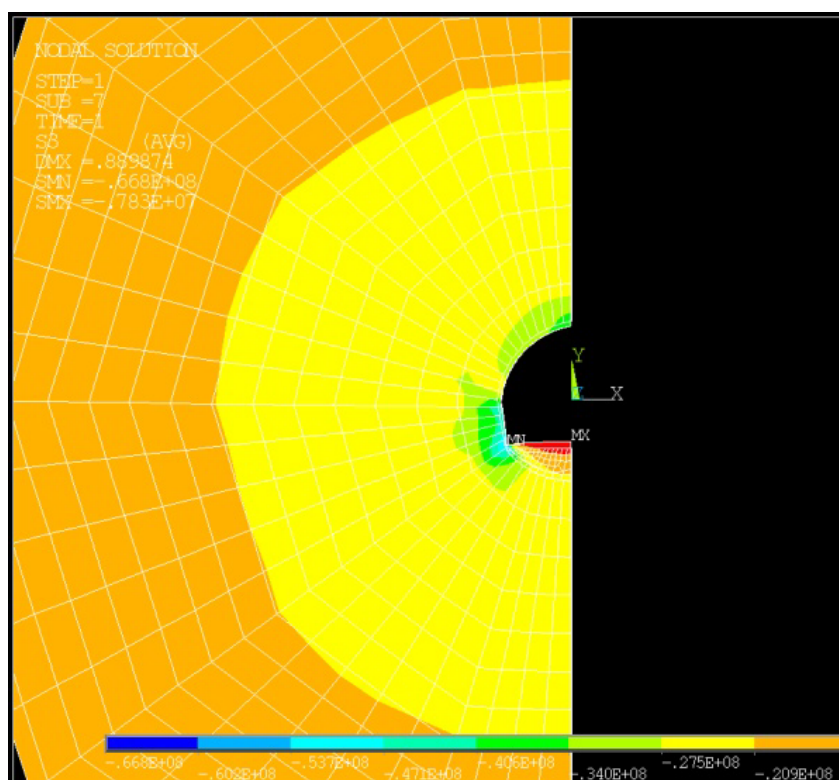
Для вивчення механізму розвитку пучіння і оцінки ефективності зміцнення порід підосви, було проведено імітаційне моделювання процесу здимання. При цьому послідовно вирішувалися три завдання:

- аналіз напружено-деформованого стану масиву без зміцнення підосви;
- аналіз напружено-деформованого стану масиву при зміцненні підосви в формі зворотного склепіння;
- аналіз напружено-деформованого стану масиву при реалізації запропонованого способу зміцнення підосви.

Картини розподілу головних напружень навколо виробки при вирішенні першого завдання наведені на рис. 5.3. Аналіз розподілу максимальних головних напружень σ_1 (рис. 5.3а), дозволив зробити висновок, що в підосві виробки формується зона знижених напружень на глибину, що перевищує половину ширини виробки. Оскільки породи в межах зруйнованої зони вже втратили суцільність і деформуються НЕ пружно.



а



б

Рисунок 5.3 – Картини розподілу максимальних σ_1 (а) і мінімальних σ_3 (б) головних напружень навколо виробки без зміцнення підосви

Наявність зони знижених напружень свідчить про залучення позначеної частини порід в процес переміщення в порожнину виробки. В абсолютних величинах підняття підосви виробки в центрі прольоту склало 15 см. Аналіз картин розподілу головних мінімальних напружень σ_3 (рис. 5.3б), показує, що навколо виробки формується область стиснення, що повторює формою обриси зони руйнування.

При цьому максимумами стискають напруг знаходяться в області ніжки кріплення, що пояснюється наявністю природного концентратора напружень в кутку контуру виробки. По контуру покрівлі та боків виробки також спостерігаються зони підвищених напружень на відстані до півметра від кріплення виробки, що пояснюється опором аркового кріплення. У підосві ж виробки спостерігається зниження напружень, зона розвантаження за розмірами така ж як і на рис. 5.3.а.

Оскільки одним з найбільш перспективних і поширених сьогодні способів боротьби з пучінням є зміцнення ґрунту, на другій задачі моделювалося напружено-деформований стан масиву при зміцненні порід підосви у вигляді зворотного склепіння, що є однією з найкращих форм зміцненої зони [41, 42].

Оскільки основний інтерес дослідження зосереджений на підосві, а рочна форма виробки була кусочно лінійно апроксимирована з метою підвищення швидкості розрахунку і оптимізації розбиття досліджуваного обсягу порід на кінцеві елементи. При цьому в моделі змінювалися деформаційні властивості зміцненої області і коефіцієнт тертя між зміцненими і не зміцненими породами. Важливість дослідження впливу другого із зазначених фактора і його наявність в розв'язуваній задачі пояснюється наявним досвідом зміцнення порід в шахтних умовах. При зміцненні порід в'язучими сумішами в умовах шахт Донбасу спостерігалася видавлювання зміцненої області в порожнину виробки. Що свідчило про низький зчепленні між зміцненою і не зміцненою областями порід підосви.

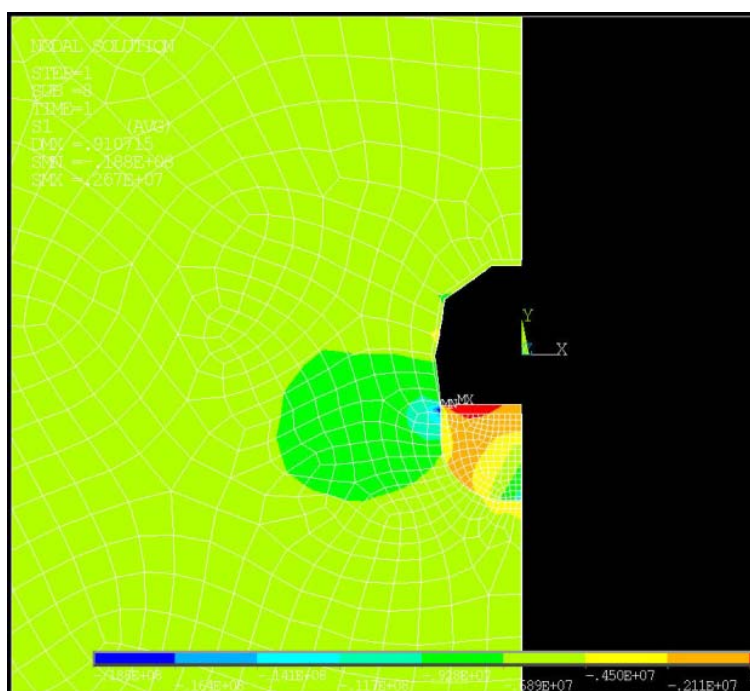
Схожі результати були отримані і в ході імітаційного моделювання методом кінцевих елементів: при низьких значеннях коефіцієнта тертя по площинах контакту зміцненої і не зміцненої зон, спостерігалось видавлювання порід зміцненої області спільним блоком. Картини розподілу головних напружень навколо виробки в цьому випадку наведені на рис. 5.4 (коефіцієнт тертя 0,5, модуль деформації зміцненої області 1ГПа).

Аналіз розподілу максимальних головних напружень σ_1 (рис. 5.4а), дозволив зробити висновок, що в підшві виробки, як і в базовій задачі, формується зона знижених напружень, в цьому випадку її розмір і форма збігаються з зміцненою у вигляді зворотного склепіння областю.

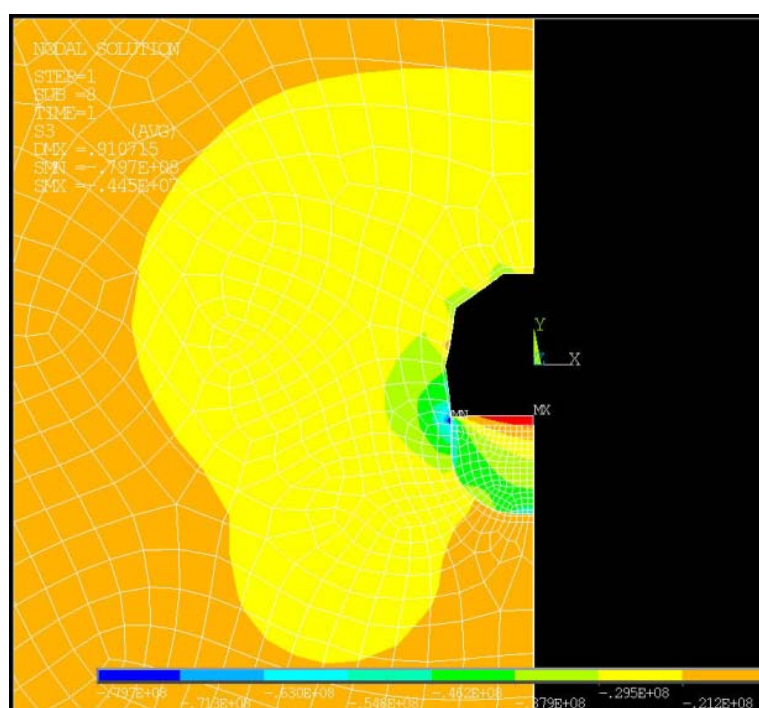
При цьому в нижній частині зміцненої зони формувалися підвищені напруги, що викликаються стисненням зворотного склепіння на контакті з не зміцненою областю. Це призводило до витіснення зміцненої зони в порожнину виробки.

У приконтурної області підшви формувалися знижені напруги. Аналіз картин розподілу головних мінімальних напружень σ_3 (рис. 5.4б), показує, що напружено деформований стан в боках і покрівлі виробки схоже з базовим завданням. Відмінності ж, що спостерігаються в підшві, пов'язані з переміщенням зміцненої області в напрямку виробки.

Вплив якості зміцнення порід на величину здимання можна відстежити за графіками, представленими на рис. 5.5. Показником, що характеризує якість зміцнення, є модуль деформації зміцнених порід. У модельованому діапазоні можна вважати, що чим менші деформації набуває зміцнений масив при навантаженні, тобто чим вище його модуль деформацій, тим вище якість зміцнення. З рис. 5.5 очевидно, що підвищення модуля деформації зміцнених порід призводить до зниження пучіння.

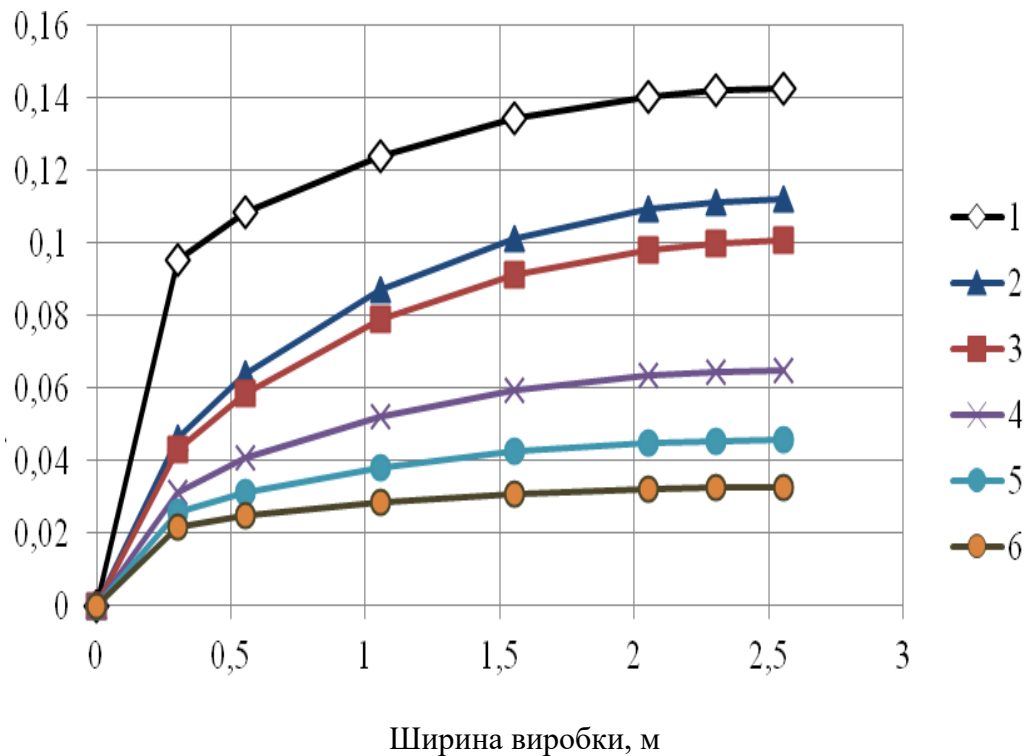


а



б

Рисунок 5.4 – Картини розподілу максимальних σ_1 (а) і мінімальних σ_3 (б) головних напруг навколо виробки при зміцненні підосви в формі зворотного склепіння



1 – без зміцнення; 2, 3, 4, 5, 6 – зміцнена зона у вигляді зворотного склепіння при модулі деформації 0,5, 0,75, 1, 5, 7,5, 10 МПа відповідно

Рисунок 5.5 – Графіки залежності пучіння підшви виробки від модуля деформації зміцненої області при коефіцієнті тертя 1

Для оцінки впливу модуля деформацій порід (E_{def}) в зміцненій зоні на величину здимання підшви (U_{fl}) введемо відносний показник - коефіцієнт зниження здимання підшви при зміцненні (k_{fl}), який чисельно дорівнює відношенню величини пучіння після зміцнення, до пучіння без зміцнення.

Графік зміни цього параметра представлений на рис. 5.6. За результатами проведеного математичного моделювання побудована крива, яка досить добре апроксимується статечною залежністю $k_{fl} = 0,7029E_{def} - 0,487$ з достовірністю апроксимації близькою до одиниці.

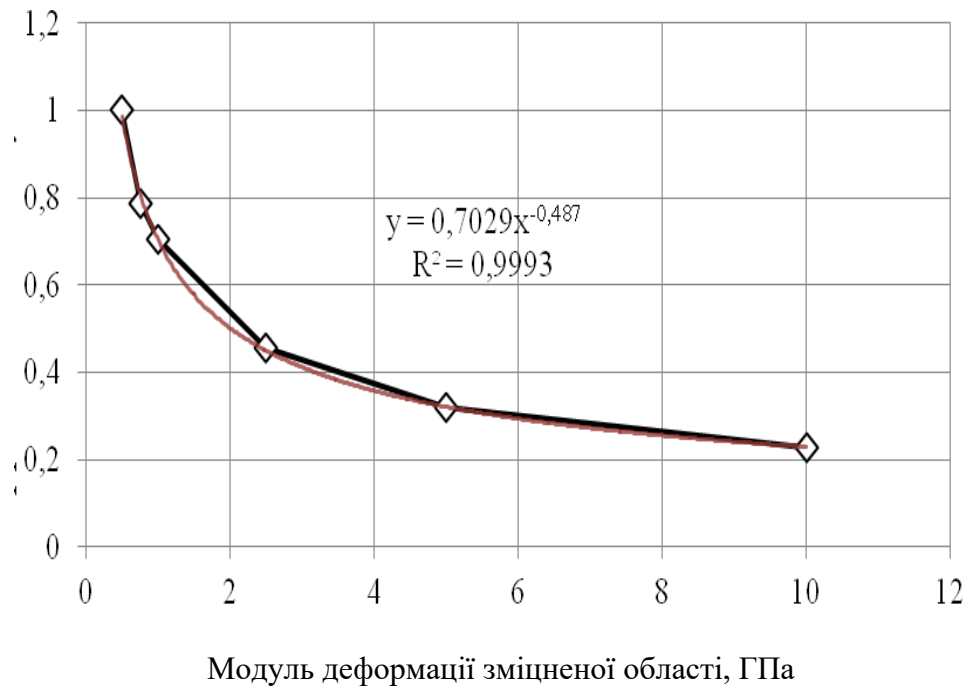
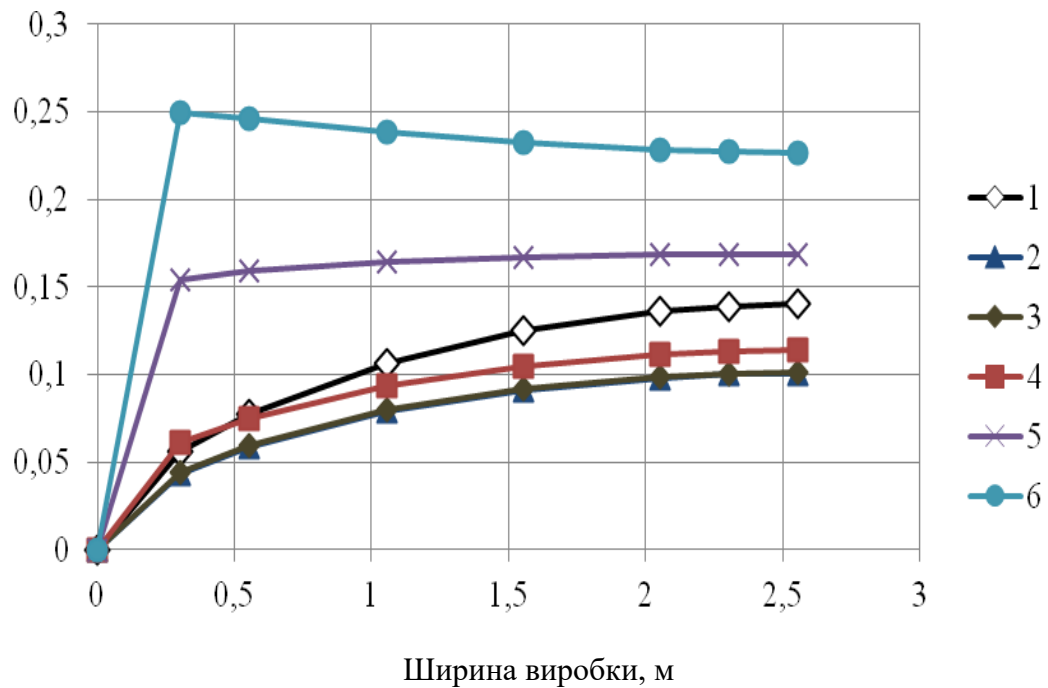


Рисунок 5.6 – Графік залежності коефіцієнта зниження пучіння від модуля деформації зміцненої області у вигляді зворотного склепіння

Аналіз поданого графіка дозволяє зробити висновок, що підвищення модуля деформації порід в результаті зміцнення на 20% дозволяє знизити пучіння більш ніж удвічі, після чого ефективність зміцнення знижується, і подальше підвищення модуля деформації ще на 80% забезпечує всього лише близько 20% зниження пучіння.

Графіки, наведені на рис. 5.7, відображають залежність пучіння підшви від коефіцієнта тертя між зміцненою і не зміцненою областями порід. При цьому представлені результати описують ситуацію, коли модуль деформації зміцнених порід становить 1 ГПа. Серія проведених експериментів показала, що зниження коефіцієнта тертя однаково негативно впливає на збереження стійкості підшви незалежно від деформаційних параметрів зміцненої області.



1 - без зміцнення при коефіцієнті тертя 1; 2, 3, 4, 5, 6 - зміцнена зона у вигляді зворотного склепіння при коефіцієнті тертя 1, 0,75, 0,5, 0,3, 0,1 відповідно

Рисунок 5.7 – Графіки залежності пучіння підшви виробки від коефіцієнта тертя між зміцненою зоною в формі зворотного склепіння і масивом

З представлених графіків (рис. 5.7) видно, що зниження тертя призводить до зростання пучіння, що в цілому логічно. Однак розподіл пучіння по ширині виробки змінює характер з певного значення коефіцієнта тертя.

У проведеному експерименті це видно по різниці характерів пучіння порід при коефіцієнті тертя 0,3 і 0,5. Різниця помітна не стільки за величиною максимального підняття підшви в центрі виробки, скільки за розподілом по ширині. При коефіцієнті тертя 0,3 відбувається «прослизання» підшви спільним блоком, що характеризується стрибком кривої пучіння на ділянці між ніжкою виробки (точка 0 на графіку) і відстанню від ніжки 0,25.

Зниження коефіцієнта тертя до 0,1 призводить до помітного збільшення деформації підшви, при цьому пучіння розвивається за

механізмом, аналогічним описаному вище. Так само явище видавлювання зміцненої області спільним блоком можна спостерігати по ізолініях розподілу напружень. Таким чином, ефективність зміцнення порід підосви при формуванні зворотного склепіння багато в чому визначається тертям між зміцненими і не зміцненими породами.

Результати імітаційного моделювання були узагальнені на графіку рис. 5.8, де представлена залежність коефіцієнта зміни пучіння від коефіцієнта тертя між породами. Коефіцієнт зміни пучіння відображає ставлення максимального пучіння в центрі прольоту виробки з зміцненням підосви до аналогічного показника без зміцнення.

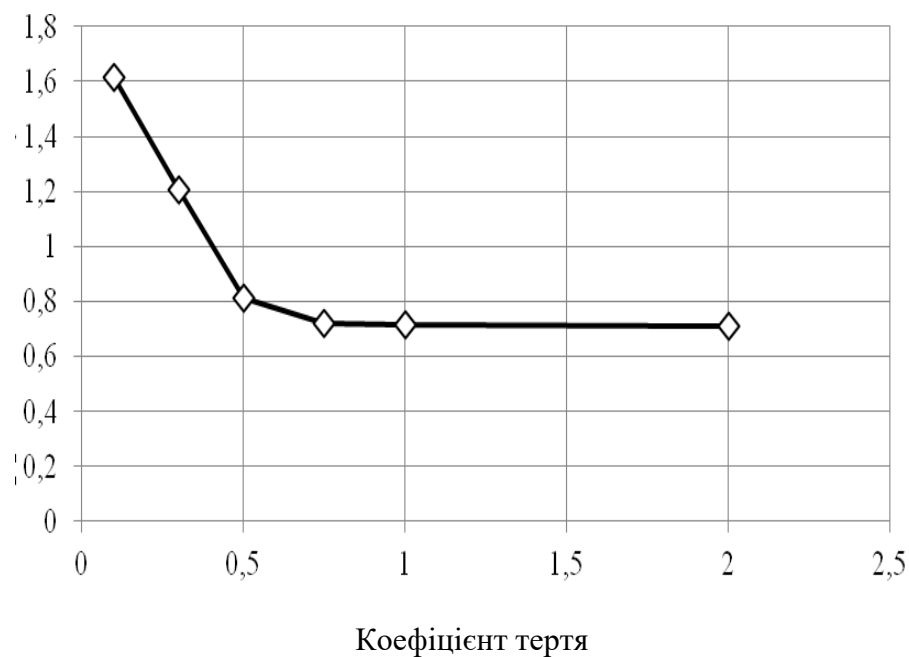


Рисунок 5.8 – Графік залежності коефіцієнта зміни пучіння від коефіцієнта тертя між зміцненою зоною в формі зворотного склепіння і масивом

Аналіз графіка показує, що ефективність зміцнення знижується при зменшенні коефіцієнта тертя нижче 0,6. До цього моменту вплив тертя між

зміцненими і не зміцненими породами на пучіння не простежується, а вже з коефіцієнта тертя 0,5 починається різкий негативний вплив.

Проведені експерименти показали, що коефіцієнт тертя сухого алевроліту по алевроліту становить 0,65, аргіліту по аргіліту 0,62, бетону по алевроліту 0,6, бетону по аргіліту 0,55. Однак, якщо враховувати відомий ефект зниження коефіцієнта тертя при зволоженні контактних поверхонь, то очевидна ймовірність механізму видавлювання зміцненої області спільним блоком.

5.3 Розробка ідеї нового способу зміцнення підосви

Для забезпечення стійкості підосви в таких складних умовах необхідно розробити спосіб боротьби з пучінням, заснований на створенні в підосві виробки локально укріплених зон спеціальної форми, що дозволяють зберігати стійкість навіть при низькому коефіцієнті тертя між породами.

В основу розробки такого способу було покладено ідею формування в підосві распорної системи наростаючого опору. Механічним аналогом, що дозволяє забезпечити бажаний ефект, є клиновий распорний пристрій. На основі відомого принципу роботи клинового пристрою і була розвинена ідея розробленого способу боротьби з пучінням, в якому пропонувалося зміцнену область в підосві виробки створювати в формі клина спрямованого гострим краєм в сторону підосви виробки.

Пошукове моделювання показало, що висока ефективність протидії пучінню зміцненої зоною у вигляді клина забезпечується тільки в разі, коли клин, створений з зміцнених порід, «розпирається» в боки виробки, інакше він також видавлюється в порожнину, як і зворотнє склепіння. При цьому найкращий ефект досягається в тому випадку, коли в боках виробки

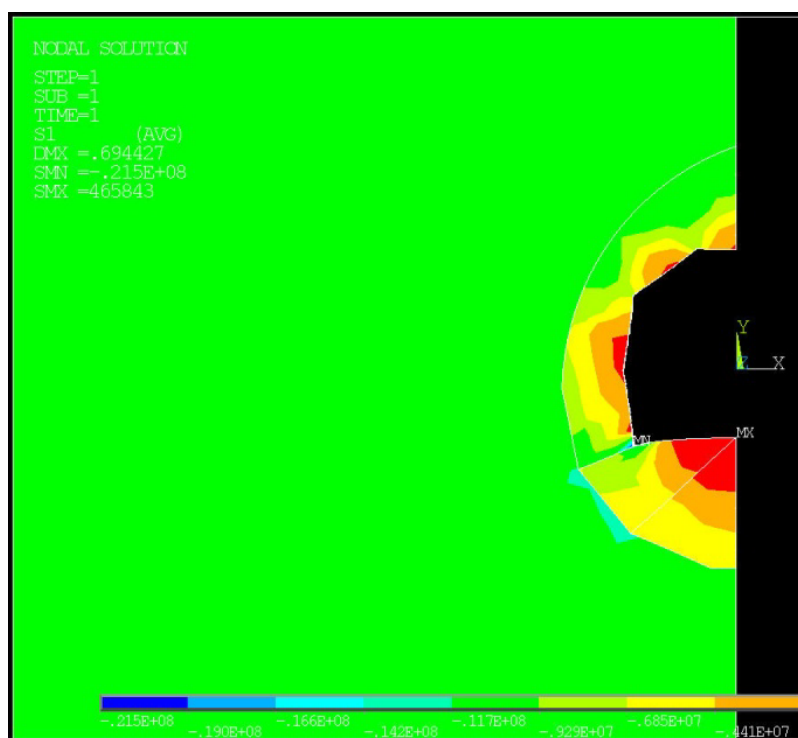
створюються додатково дві локальні зміцнені зони, виконують роль гнізда клина [44]. Картини розподілу головних напружень навколо виробки в цьому випадку наведені на рис. 9 (коефіцієнт тертя 0,5, модуль деформації зміцнених областей 1ГПа).

Аналіз картин розподілу напружень навколо виробки показує, що в підшві виробки, при реалізації запропонованого способу, розвивається механізм деформування відмінний від представлених на рис. 5.4 і 5.5. Хоча, як і в задачі зі зворотним склепінням, в приконтурної частини зміцненої області виникають знижені напруження, що пояснюється розвантаженням порід в напрямку підшви виробки і відповідним їх переміщенням.

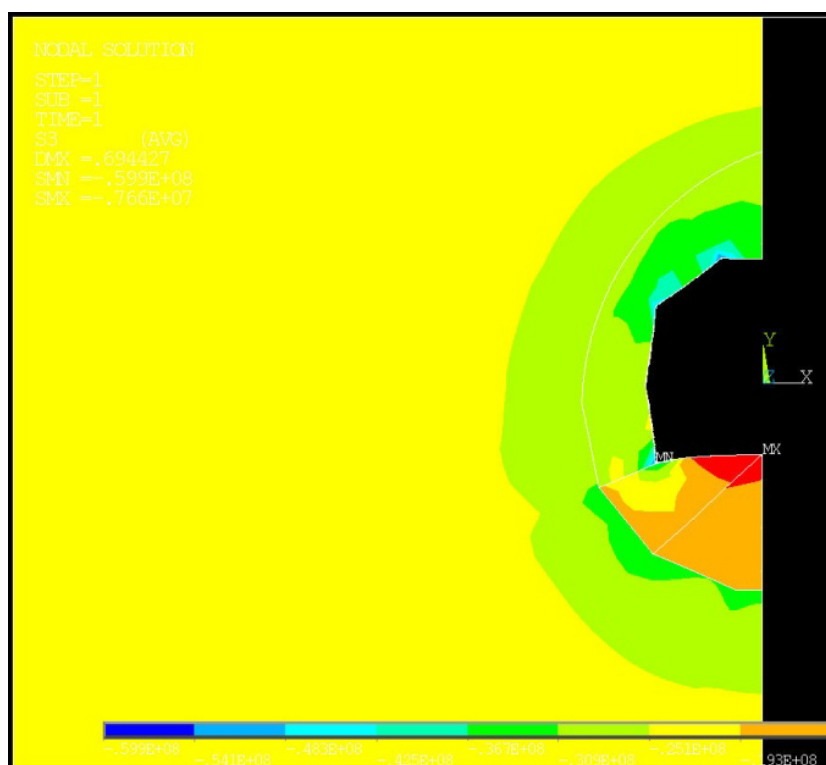
Однак вертикальне переміщення центральної частини локально зміцненої області порід в напрямку вироблення супроводжується горизонтальним втискуванням бічній зміцненої зони в породний масив в боці вироблення і зростанням опору переміщенню. Розпір викликає підвищення напруження між бічною зміцненою зоною і масивом, що видно на рис. 5.9а, б. Таким чином очікуваний ефект досягається.

Для оцінки ефективності запропонованого способу необхідно перейти до аналізу кількісних показників. Вплив модуля деформації зміцненого масиву на величину здимання при достатньому терті, не може істотно відрізнитися від попередньої задачі. Тому основна увага зосередимо на вплив коефіцієнта тертя.

Графіки залежності підняття ґрунту від коефіцієнта тертя між породами наведені на рис. 5.10.

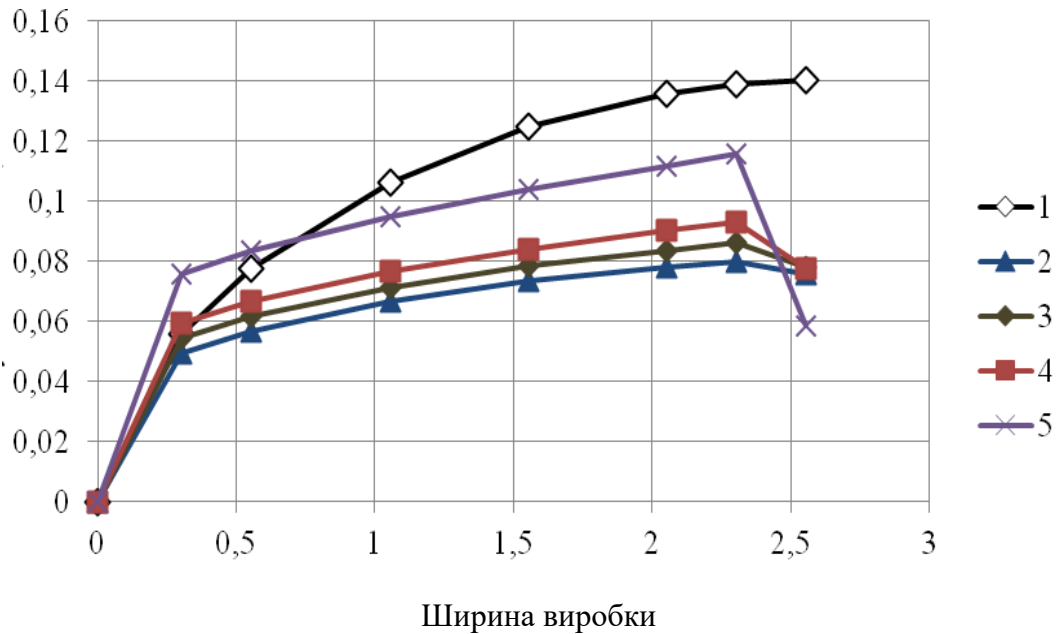


а



б

Рисунок 5.9 – Картини розподілу максимальних σ_1 (а) і мінімальних σ_3 (б) головних напруг навколо виробки при зміцненні підосви за пропонованим способом



1 - без зміцнення при коефіцієнті тертя 1; 2, 3, 4, 5 - зміцнена зона у вигляді зворотного склепіння при коефіцієнті тертя 1, 0,5, 0,3, 0,1 відповідно

Рисунок 5.10 – Графіки залежності пучіння підшви виробки від коефіцієнта тертя між зміцненими зонами при зміцненні підшви за пропонуваним способом

Першою відмінною рисою пучіння, при реалізації запропонованого способу, є те, що максимальні підняття спостерігаються не в центрі прольоту. Це пояснюється тим, що в центрі прольоту розташовувався кут клина зміцненої центральної зони, який піднімався менше ніж породи бічних зміцнених зон.

Другою важливою особливістю є те, що всі графіки підняття підшви знаходяться нижче, ніж базовий, що характеризує пучіння без зміцнення порід. Тобто навіть при коефіцієнті тертя 0,1 пропонуваний спосіб забезпечує менші пучіння, ніж в разі без зміцнення. Це вигідно відрізняє його від зміцнення у вигляді зворотного склепіння, де при аналогічному коефіцієнті тертя пучення більше ніж в базовому варіанті. В запас міцності йде той факт, що зниження тертя між породними фрагментами в базовому варіанті також

буде викликати підвищення підняття ґрунту. Однак навіть без урахування цього видно, що запропонований спосіб забезпечує високу ефективність.

Очевидно, що проведене моделювання є ідеалізованим і відображають лише механістичний бік питання, проте отримані результати свідчать про правильність обраного напрямку досліджень.

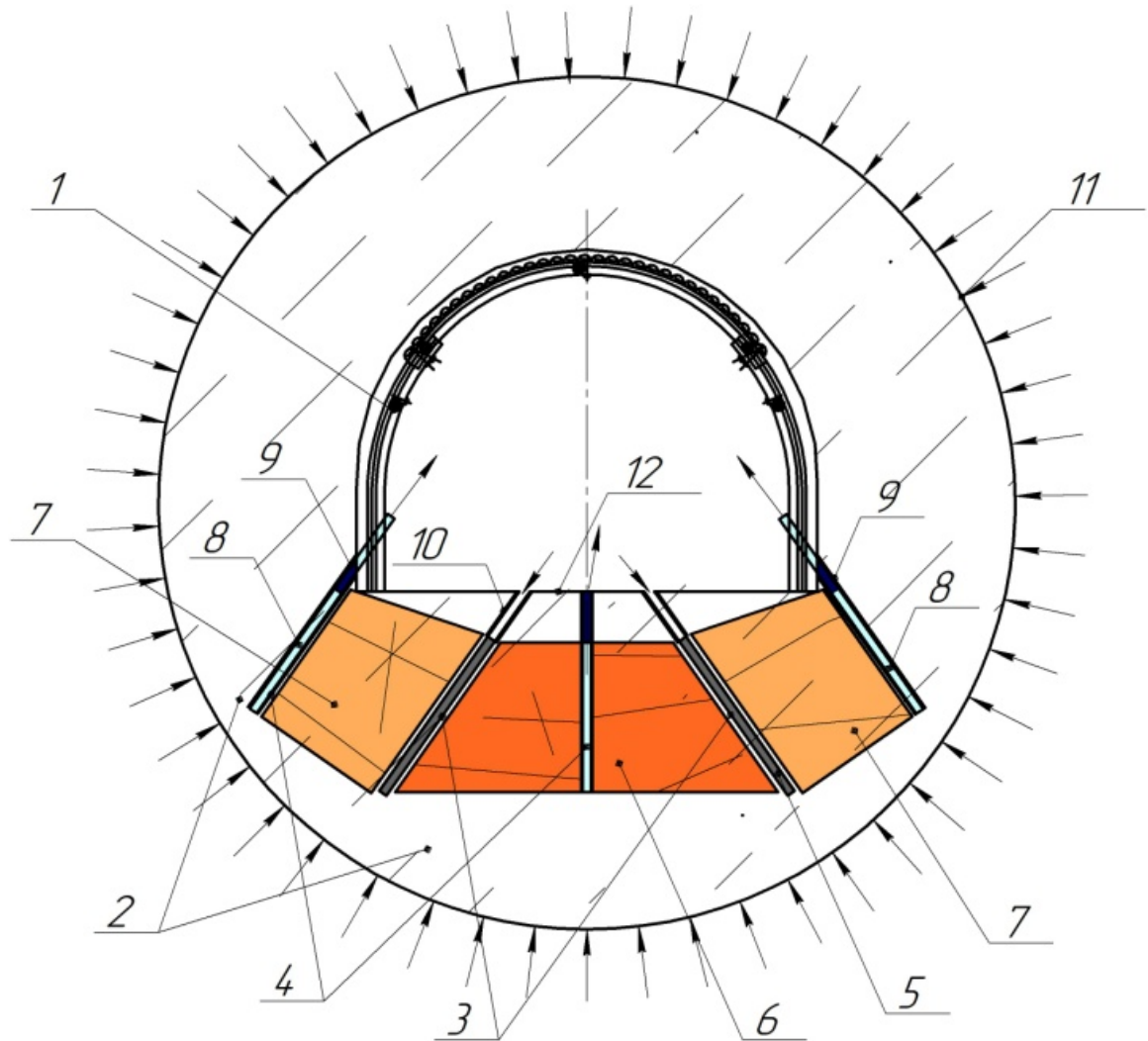
Ефективність запропонованого способу боротьби з пучінням, за результатами математичного моделювання очевидна. Для реалізації запропонованого механізму роботи локально зміцнених зон необхідно розробити спосіб формування зміцненої області з заданими параметрами в ґрунт гірничих виробок, провести його натурні випробування і на основі виявлених недоліків створити технологію зміцнення підшви виробок.

5.4 Запропонований спосіб зміцнення підшви

З урахуванням викладених вище уявлень про причини і механізм підняття підшви в зонах впливу гірничих робіт вченими ДонНТУ запропонований спосіб [44] боротьби з пучінням, заснований на створенні в підшві виробки локально укріплених зон спеціальної форми. В попередньому підрозділі проведене математичне моделювання цього способу. Тепер слід описати порядок реалізації способу і його параметри.

У розробленому способі зміцнення підшви гірничої виробки проводиться нагнітанням твердіючих розчинів через свердловини, пробурені в підшву виробки. При цьому свердловини буряться таким чином, щоб в після нагнітання розчину були сформовано три локально укріплені зони: центральна в формі прямої призми, в основі якої рівнобічна трапеція, висота якої аппроксимує вектор максимальних деформацій порід ґрунту, і дві бічні, кожна з яких в формі прямої призми, в основі якої прямокутна трапеція

основа якої паралельна стороні трапеції основи центральної призми (рис. 5.11). Для реалізації способу доцільно використовувати твердіючий розчин, який має рухливість по тесту на розплав конуса не менше 30 см . Це може бути розчин на основі мінерального в'язучого, смоли або полімерного складу [44] .



1 - гірничя виробка, 2 - приконтурні породи, 3, 4 - свердловини, 5 – розчин зсіцнюючий 6 - центральна локально укріплена зона, 7 - бічні локально укріплені зони, 8 - сталеві труби, 9 - герметизація, 10 - обсадні труби, 11 - зона непружних деформацій, 12 – підшва виробки

Рисунок 5.11 – Спосіб локального зміцнення підшви

Буріння свердловин таким чином, щоб в підшві було сформовано три локально укріплені зони, дозволяє створити розпірну охоронну систему. Зростання зони непружних деформацій провокує переміщення порід у напрямку підшви виробки, сприяє переміщенню центральної укріпленої зони щодо бічних, і її розпору між ними. Опір склалася распорной системи переміщенню порід буде наростати в міру підвищення тиску на нижню частину укріпленої зони. Орієнтація укріплених зон таким чином, щоб висота трапеції підстави прямої призми, яка формує центральну укріплену зону, апроксимувати вектор максимальних деформацій порід ґрунту, забезпечує максимальну протидію переміщенню порід ґрунту в напрямку виробки. Таким чином, забезпечується стійкість порід підшви виробки в блочно-дискретно масиві в зонах впливу гірничих робіт [44].

Аналіз ринку скуріплюючих сумішей, що доступні в Україні було прийнято рішення зупинитись на сумішах компанії Minova.

В якості твердіючого розчину для укріплення порушених порід Міновою пропонується поліуретанова смола Беведол Р С - Беведан Р складається з двох рідких компонентів, які в об'ємному співвідношенні 1: 1 за допомогою насоса подаються окремо по шлангах, переміщуються в змішувачі і через анкерну систему і герметизатор нагнітаються в гірський масив під тиском 60-90 бар. Реакція полімерної суміші протікає зі збільшенням обсягу полімерного складу. Спінений склад проникає під тиском навіть в невеликі тріщини в породному масиві. В результаті в масиві формується область, зміцнена спініним еластичним складом [45].

Для проведення робіт з нагнітання Беведол Р С - Беведан Р компанія пропонує використовувати компактні двокомпонентні насоси типу SK90 1: 1, СТ DP-35, СТ DP-40, МРН з подачею компонентів в об'ємному співвідношенні 1: 1 з пневматичним або гідравлічним приводом і приналежності для нагнітання [45].

Відповідно до рекомендацій фірми обираємо пневматичний двокомпонентний шестерний насос SK90 1: 1.

Пневматичний двокомпонентний шестерний насос SK90 1: 1 (рис. 5.12) призначений для роздільної подачі компонентів полімерних смол в співвідношенні 1: 1 по шлангах, перемішування компонентів в змішувачі з подальшим нагнітанням в гірський масив з робочим тиском 60-90 бар або в порожнечі. насос SK90 1: 1 складається з пневмодвигателя роторного типу, двох шестерних насосів (робочих ступенів), з контурами високого тиску для нагнітання компонентів смол, обладнаними зворотними клапанами і запірними кранами.



Рисунок 5.12 – Пневматичний двокомпонентний шестерний насос SK90 1: 1

Технічні характеристики, які характеризують роботу обраного насоса наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Технічні характеристики насоса

Насос	SK90 1: 1
Робочий тиск пневмопривода, бар	4-7
Максимальна витрата повітря, м ³ / хв	8
Максимальний тиск нагнітання, бар	160
Темп подачі полімерного складу, л / хв	7,5 -20,0
Розміри, мм: довжина x ширина x висота	1200x450x550
Маса, кг	80

Інекційна арматура, пропонується цієї ж компанії (рис. 5.13).



Рисунок 5.13 – Комплект ін'єкційної арматури

В якості всмоктувальної установки пропонується вакуумний насос ВВН 2-50М - водокільцевого типу промисловий чавунний агрегат. Створює неглибокий вакуум до 0,02 МПа (умовно мінус 80% від атмосферного тиску).

Припустимо, що фільтрується ідеальна речовина тоді, користуючись функцією Лейбензона, то формули для розрахунку фільтрації в шарувато неоднорідному масиві:

$$p(x) = \sqrt{p_k^2 - \frac{p_k^2 - p_r^2}{L}x},$$

$$\rho \omega^i = \frac{k_i \rho_{am}}{2\mu \varphi_{am}} \frac{p_k^2 - p_r^2}{L} = \frac{k_i \rho(x)}{2\mu \varphi(x)} \frac{p_k^2 - p_r^2}{L},$$

$$Q_m^i = \frac{k_i \rho_{am}}{2\mu \varphi_{am}} \frac{p_k^2 - p_r^2}{L} h_i B.$$

Масову витрату можна розрахувати як суму витрат

$$Q_m = \sum_1^n Q_m^i = \frac{B(p_k - p_r)}{\mu L} \sum_1^n k_i h_i.$$

Для гідродинамічних розрахунків зручно замінити формулу для потоку флюїду в неоднорідному масиві на формулу в однорідному масиві тих же розмірів, але з середньою проникністю k_{cp} , величину якої можна визначити з умови рівності дебітів:

$$Q_m = \frac{k_{cp}(p_k - p_r)}{\mu L} B h = \frac{B(p_k - p_r)}{\mu L} \sum_1^n k_i h_i$$

Підставивши значення функції Лейбензона для нестисливої рідини, отримаємо формули для дебіту:

$$Q_m = \frac{B \rho_{am}(p_k^2 - p_r^2)}{2\mu \varphi_{am} L} \sum_1^n k_i h_i.$$

На основі наведених залежностей встановлено максимальну відстань між нагнітальними і всмоктувальними свердловинами, яка склала 1,8 м. За таких розмірів прийнято 2 нагнітальні і 3 відсмоктувальні свердловини в поперечному перетині. Глибина зони зміцнення становила 2,0 м.

Розрахуємо вартість робіт по зміцненню.

Розрахуємо, для прикладу, зміцнення підосви на ділянці $l=50\text{м}$.

Площа ділянки $50 \times 5 = 250\text{м}^2$.

Плотність свердловин 2 св/м^2 .

Кількість рядів свердловин при 5 анкерах в ряду дорівнює:
 $50 \times 2 = 100$ рядів

Витрати суміші в кожній свердловині 10 літрів. Таким чином загальні витрати суміші на гідрозахист становлять:

$$Q = 250 \times 2 \times 10 = 5000\text{л}$$

Вартість 1 л Беведол Р С - Беведан Р 54 грн., розрахуємо прямі витрати суміш:

$$C_{\text{Бев}} = Q \times c = 5000 \times 54 = 270000\text{грн}$$

Питомі витрати на 1 м виробки становить

$$C_{\text{пит.}} = C_{\text{Бев}} / l = 270000 / 50 = 5400\text{ грн/м}$$

Витрати на місячну амортизацію насосів зведені в таблицю 5.2.

Витрати часу на зміцнення шрека довжиною 50 м дорівнює 10 діб, тому амортизація за цей період становить $C_{\text{Ам}} = 9330 / 10 = 933\text{ грн}$.

Таблиця 4.2 – Витрати на амортизацію обладнання

Найменування встаткування	Кількість єдина.	Оптова ціна, грн.	Транспортні Витрати, грн.	Витрати на монтаж, грн	Загальна балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Амортизація, грн.
SK90 1: 1 з арматурою	1	1400000	70000	140000	1610000	3	48300
ВВН 2-50М з арматурою	1	100000	50000	10000	151000	3	4530
							9330

Сумарні питомі витрати на зміцнення підшви 1 м виробки:

$$C_{\text{пит}} = C_{\text{Бев}} + C_{\text{Ам}}$$

$$C_{\text{пит}} = 5400 + 933 = 6333 \text{ грн/м}$$

Проведені розрахунки свідчать, що витрати на зміцнення підшви, нагнітанням двохкомпонентної суміші Беведол Р С - Беведан Р шестерним пневмонасосом SK90 1: 1 в умовах ПРАТ «ш/у Покровське» дорівнюють 6333 грн/м. Основна частина сумарних витрат це витрати на Беведол Р С - Беведан Р.

Графічна інтерпретація способу зміцнення порід підшви по запропонованому способу наведена на рис. 5.14.

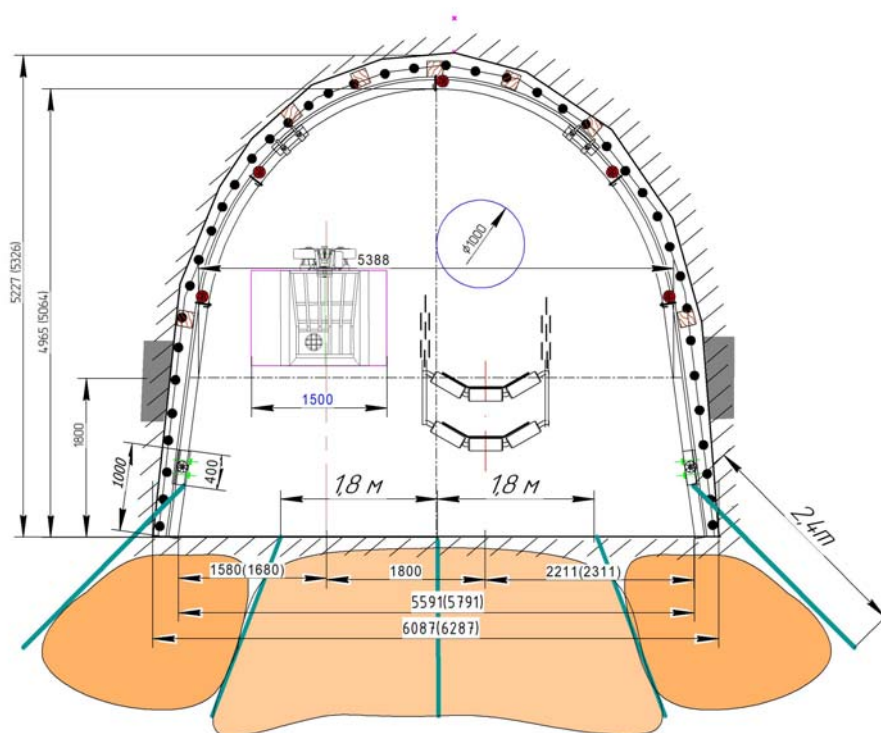
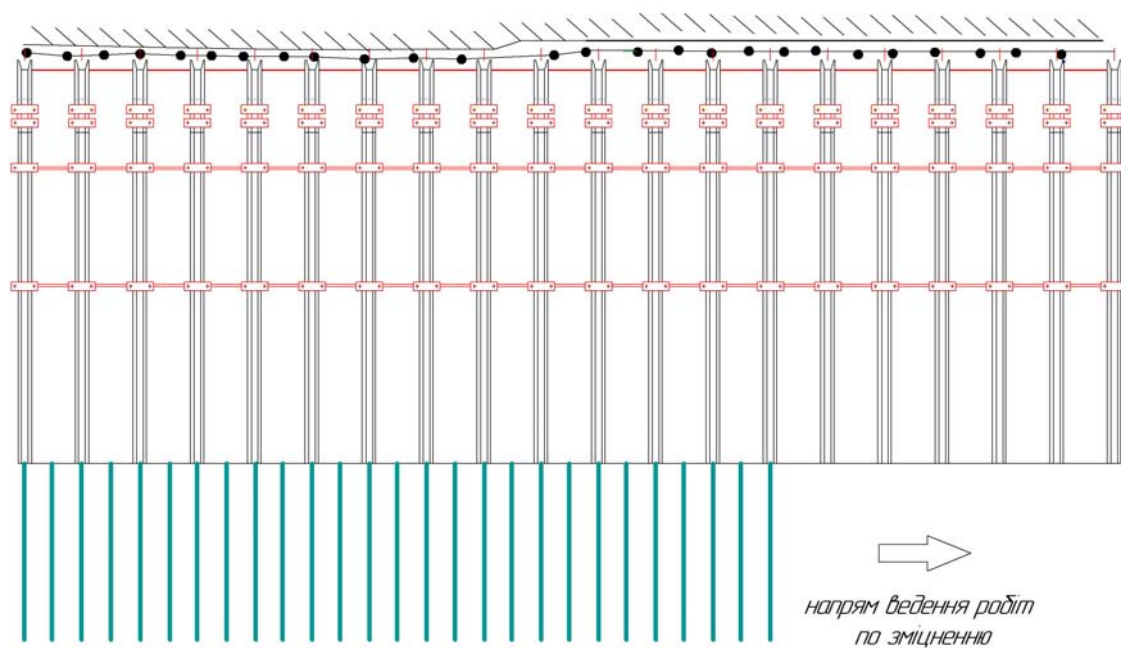


Рисунок 5.14 – Спосіб зміцнення гірських порід

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи вирішено актуальне завдання наукового обґрунтування і розробки способу боротьби з підняттям підосви гірничих виробок на пл. d_4 в блоці 10 ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».

Огляд літературних джерел дозволив типізувати випадки підняття підосви і згрупувати їх в три класи за механізмом розвитку:

- внаслідок руйнування порід і видавлювання їх в порожнину виробки;
- внаслідок набухання порід при зволоженні;
- внаслідок вигину шарів, розташованих в підосві.

Проведений аналіз умов проведення виробок на пл. d_4 в блоці 10 дозволив зробити висновок, що за паспортом заходів з профілактики підняття підосви не заплановано. Прийняті на підприємстві технічні рішення з кріплення виробок в цілому відповідають сучасному рівню гірничої практики. Проблема пучіння найбільш актуальна в зонах з підвищеним водопритокком. Аналіз вказує найбільш вірогідний механізм розвитку через руйнування порід при контурної зони. Шахтна технологічна передбачає лише боротьбу з наслідками пучіння шляхом підривки.

Аналіз світового досвіду свідчить, що найбільш прогресивним і доцільним в сучасних умовах є спосіб боротьби з пучінням шляхом зміцнення порід.

На підставі проведеного чисельного аналізу напружено-деформованого стану масиву показано вплив фізико-механічних властивостей порід на величину пучіння і механізм протікання цього явища. Проведено моделювання найбільш поширеного способу зміцнення порід у вигляді зворотнього склепіння. З урахуванням виявлених недоліків запропонований спосіб боротьби з пучінням, заснований на створенні в підосві локально

укріплених зон спеціальної форми. Доведено ефективність запропонованого способу

Враховуючі відомий досвід запропоновано використання твердіючих смол, що виробляються компанією Мінова. Аналіз пропозицій компанії Мінова дозволив зупинитись на композиції Беведол - Беведан. В якості машин для інєктування запропоновано пневматичні поршневі насоси.

Розроблена схема зміцнення порід підшви. Розраховано параметри способу. Розрахована вартість реалізації - близько 6333 грн/м пог. виробки. Отримані результати свідчать про ефективність запропонованих рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Peng, S S. (2008) Coal mine ground control. 3rd ed. United States., West Virginia University: Morgantown, 750p.

1. Van Dyke, M A, Sears, M M, Klemetti, T M, Su, D W H, Tulu, I B and Wickline, J, (2018). Geological evaluation of floor heave in a longwall mine under 189 deep overburden, in Proceedings 52nd US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, Seattle, Washington (American Rock Mechanics Association).

3. Haramy, K and McDonnell, J, (1986). Floor heave analysis in a deep coal mine, in Proceedings 27th US Symposium on Rock Mechanics, Tuscaloosa, Alabama pp. 520-525.

4. Gordon, N, 2001. The development of hazard plans at Kestrel mine, in Proceedings 3rd Coal Operators' Conference, Wollongong (ed: N I Aziz) pp 159-168.

5. Kent, L, Bowler, J, Moore, D and Walker, S, 2014. Meeting the challenges of floor and sidewall strata control in UK deep coal mines, in Proceedings 33rd International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia (eds: T M Barczak, M Ingold, S S Peng, D Schmidt and S C Tadolini) pp 134-143/

6. Shimada, H, Hamanaka, A, Sasaoka, T and Matsui, K, 2014. Behaviour of grouting material used for floor reinforcement in underground mines, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 28(2):133-148/

7. Perry, K A, Bradley, J, Unrug, K F and Klimek, M, 2015. Floor heave control outby the seal line in No.11 West Kentucky seam, in Proceedings 34th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia (eds: T M Barczak, S S Peng, D Schmidt, S C Tadolini and M Thompson) pp 169-173.

8. Faria Santos, C and Bieniawski, Z T, 1989. Floor design in underground coal mines, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 22(4):249-271.
9. Park, D W, Jiang, Y M, Morley, L A and Keeton, W, 1991. Stability analysis of a room-and-pillar mine with thinly laminated roof, strong pillar, and weak floor, *Mining Engineering*, 44(11):1355-1360.
10. Seedsman, R W and Gordon, N, 1992b. Weak claystone floors and their implications to pillar design and settlement, in *Proceedings 11th International Conference on Ground Control in Mining*, Wollongong, New South Wales (eds: S S Peng and N I Aziz) pp 548-555.
11. Peng, S S, Wang, Y J and Tsang, P, 1995. Analysis of floor heave mechanisms, in *Proceedings SME Annual Meeting*, Denver, Colorado.
11. Vasundhara, 1999. Geomechanical behaviour of soft floor strata in underground coal mines, PhD thesis, University of New South Wales, Sydney.
13. Rutty, Y M, Payne, D and McKenzie, A, 2016. The evolution of pre-driven recovery roadways at Crinum mine, in *Proceedings 16th Coal Operators' Conference*, Wollongong, New South Wales (eds: N Aziz and B Kininmonth) pp. 177-189.
14. Vesic, A S, 1963. Bearing capacity of deep foundations in sand, *Highway Research Record*, (39):112-153.
15. Galvin, J M, 2010. The UNSW pillar design methodology and considerations for using this and other empirical pillar system design approaches, paper presented to 3rd International Workshop on Coal Pillar Mechanics and Design, Morgantown, West Virginia, 26 July.
16. Marino, G G and Choi, S, 1999. Softening effects on bearing capacity of mine floors, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125(12):1078-1089.

17. Prusek, S, Lubosik, Z, Dvorsky, P and Horak, P, 2011. Gateroad support in the Czech and Polish coal mining industry - present state and future developments, in Proceedings 30th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia (ed: T M Barczak) pp. 135- 145.
18. Lubosik, Z, Prusek, S, Wrana, A and Walentek, A, 2015. Underground measurement of gateroad stability at the depth around 1000m, in Proceedings 34th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia (eds: T M Barczak, S S Peng, D Schmidt, S C Tadolini and M Thompson) pp. 174-181.
19. Kang, Y, Liu, Q, Gong, G and Wang, H, 2014. Application of a combined support system to the weak floor reinforcement in deep underground coal mine, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 71:143-150.
20. Jing, L and Hudson, J A, 2001. Numerical methods in rock mechanics, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 39(4):409-427.
21. Marino, G G and Choi, S, 1999. Softening effects on bearing capacity of mine floors, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 125(12):1078-1089.
21. Deb, D, Ma, J and Chugh, Y P, 2000. A numerical analysis of the effects of weak floor strata on longwall face ground, in Proceedings SME Annual Meeting, Salt Lake City
23. Gadde, M M, 2009a. Numerical model evaluation of floor-bearing capacity in coal mines, in Proceedings International Workshop on Numerical Modeling for Underground Mine Excavation Design, Asheville, North Carolina (eds: G S Esterhuizen, C Mark, T M Klemetti and R J Tuchman) pp 47-54.

24. Kostecki, T and Spearing, A J S, 2015. Influence of backfill on coal pillar strength and floor bearing capacity in weak floor conditions in the Illinois Basin, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 76:55-67.

25. Yavuz, M, Iphar, M, Aksoy, M and Once, G, 2003. Evaluation of floor heaving in galleries by numerical analysis, in *Proceedings Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries*, Cape Town, South Africa (ed: F A Camisani-Calzolari) pp. 185-190.

26. Zhang, Z and Shimada, H, 2018. Numerical study on the effectiveness of grouting reinforcement on the large heaving floor of the deep retained goaf-side gateroad: a case study in China, *Energies*, 11(4).

27. Coggan, J, Gao, F, Stead, D and Elmo, D, 2011. Numerical modelling of the effects of weak immediate roof lithology on coal mine roadway stability, *International Journal of Coal Geology*, 90:100-109.

28. Karampinos, E, Hadjigeorgiou, J, Hazzard, J and Turcotte, P, 2015. Discrete element modelling of the buckling phenomenon in deep hard rock mines, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 80:346- 356.

28. Сургай, Н.С. Приоритеты в угле и цена их недооценки [Текст] / Н.С. Сургай // Науковий вісник НГА України. – 2000. – № 5. – С. 9 – 14.

29. Литвинский, Г.Г. Стальные рамные крепи горных выработок [Текст] / Г.Г. Литвинский, Г.И. Гайко, Н.И. Кулдыркаев. – К.: Техніка, 1999. – 216 с.

30. Ісаєнков, О.О. Обґрунтування параметрів локального укріплення підосви за рахунок консолідації порід сумішами, що саморозширюються / О.О. Ісаєнков, І.Г. Сахно // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2017. - №1. С. 35-40.

31. Rodzin S. Ochrona wyrobisk utrzymywanych w strefie skał spękanych w ukraińskich kopalniach węgla kamiennego / S. Rodzin, I. Sakhno, A. Isayenkow, K. Ostrowski // PRZEGLĄD GÓRNICZY Nr 9 (1125) Tom 72 (2016) pp. 78-83.
32. Сахно, І. Локальне укріплення підосви виробок, що підтримуються в зруйнованому масиві / І. Сахно, О. Ісаєнков, С. Родзін // Mining of Mineral Deposits 2017. – Issue 1, pp. 9-16.
33. Литвинский Г.Г. Механизм пучения пород почвы в подготовительных выработках / Г. Г. Литвинский. —Уголь, 1987. — № 2. — С. 15-17.
34. Проект дальнейшего развития ПАТ «ШУ «Покровське (арх. №177998), Дніпрогіршахт. 2010. 456 с.
35. Паспорт строительства горной выработки 7 северный конвейерный штрек блока 10, Покровск. 2021. 124 с.
36. Wang, C.; Wang, Y.; Lu, S. (2000) Deformational behaviour of roadways in soft rocks in underground coal mines and principles for stability control. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 37, 937–946. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(00\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(00)00026-5)
37. Chu Z.F., Wu Z.J., Liu B.G. et al. (2019) Coupled analytical solutions for deep-buried circular lined tunnels considering tunnel face advancement and soft rock rheology effects, Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 94, no. 12, pp. 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103111>
38. Guo Z.P., Du Z.W., Hu S.C. (2017) Comprehensive treatment methods of floor heave disasters in mining areas of China. Geotech Geol Eng 35(5):2485–2495. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0250-8>
39. Lai, X., Xu, H.; Shan, P.; Kang, Y., Wang, Z., Wu, X. (2020) Research on Mechanism and Control of Floor Heave of Mining-Influenced Roadway in Top Coal Caving Working Face. Energies, 13, 381. <https://doi.org/10.3390/en13020381>

40. Cao R. H., Cao P., and Lin H., (2017) A kind of control technology for squeezing failure in deep roadways: a case study. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8, (2), 1715–1729.

41. Cao R., Cao P., Lin H. (2016) Support technology of deep roadway under high stress and its application. *Int J Min Sci Technol*, 26(5):787–793. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.05.046>

42. Wang J., Guo Z.B., Yan Y.B., Pang J.W., Zhao S.J. (2012) Floor heave in the west wing track haulage roadway of the Tingnan coal mine: mechanism and control. *Int J Min Sci Technol*, 22(3):295–299. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2012.04.002>

43. Guo P., Xin Y. (2011) Parameters determination and bolting control of gateway floor. *J Coal Sci Eng* 17(4):388–392. <https://doi.org/10.1007/s12404-011-0405-9>.

44. Пат. вин. № 116603, МПК (2006) E21D 20/00, E21D 11/00 Спосіб укріплення підосви гірничої виробки / І.Г. Сахно, О.О. Ісаєнков, Я.О. Ляшок, С.В. Родзін (Україна). – а201703370; заявл. 07.04.2017, опубл. 10.06.2018, бюл. № 7. – 5с.:іл.

45. Минова каталог продукции. Добыча полезных ископаемых.www.minovaglobal.com