

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА

Кафедра будівництва, геотехніки і геомеханіки

**ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню магістра**

студента Ніколаєнка Андрія Васильовича  
(ПІБ)  
академічної групи ФБ184м-17-1  
(шифр)  
спеціальності 184 Гірництво  
(код і назва спеціальності)  
спеціалізації Будівельні геотехнології та геомеханіка  
за освітньо-професійною програмою Будівельні геотехнології  
та геомеханіка  
(офіційна назва)  
на тему Підвищення несучої здатності кріплення великопрольотних виробок  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинго- вою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Хозьякіна Н.В.			
розділів:	Хозьякіна Н.В.			
Розділ 1	Хозьякіна Н.В.			
Розділ 2	Хозьякіна Н.В.			
Розділ 3	Хозьякіна Н.В.			
<b>Рецензент</b>	Мінеєв С.П.			
<b>Нормоконтролер</b>	Максимова Е.О.			

Дніпро  
2018

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
будівництва, геотехніки і геомеханіки

\_\_\_\_\_ Гапєєв С.М.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеню магістра**

студенту \_\_\_\_\_ Ніколаєнко А.В. \_\_\_\_\_ академічної групи \_\_\_\_\_ 184М-17-1 \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності \_\_\_\_\_ 184 Гірництво \_\_\_\_\_

спеціалізації \_\_\_\_\_ Будівельні геотехнології та геомеханіка \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою \_\_\_\_\_ Будівельні геотехнології \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ та геомеханіка \_\_\_\_\_  
(офіційна назва)

на тему \_\_\_\_\_ Підвищення несучої здатності кріплення великопрольотних \_\_\_\_\_  
виробок \_\_\_\_\_

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 04.12.2018 р. №2062-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
1.	Стан гірничої промисловості України та перспективи розвитку	06.09.2018-15.10.2018
2.	Параметри і кріплення виробок великого перерізу та фактори що на них впливають	15.10.2018-15.11.2018
3.	Дослідження ймовірності деформації кріплення великопрольотних виробок	15.11.2018-20.12.2018

Завдання видано \_\_\_\_\_ Хозяйкіна Н.В. \_\_\_\_\_  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі \_\_\_\_\_ 06.09.2018 \_\_\_\_\_

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 21.12.2018 \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_ Ніколаєнко А.В. \_\_\_\_\_  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 61 сторінок, 9 рисунків, 22 джерел.

Мета дипломної роботи – розгляд, обробка та аналіз існуючих досліджень за темою роботи, дослідження нових тенденцій в розвитку промисловості та нових факторів, що впливають на підземні розробки. Метою роботи є розгляд та аналіз факторів, що впливають на несучу здатність кріплення, та методів що дають можливість підвищити несучу здатність постійного кріплення великопрольотних виробок.

Актуальність теми розглянута у вступі магістерської роботи.

У першій частині розглянуто стан, проблеми та перспективи розвитку гірничої промисловості. Наведені приклади можливих варіантів її розвитку тенденції.

У другій частині розглянуто параметри кріплення великопрольотних виробок та фактори, що впливають на них та на несучу здатність кріплення.

В третій частині роботи досліджено статистичну ймовірність деформації кріплення виробок, розраховано вплив контакту кріплення з масивом на її несучу здатність.

Ключові слова: великопрольотні виробки, несуча здатність кріплення, напружено-деформований стан.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1	
СТАН ГІРНИЧОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ.....	
КУ.....	7
1.1. Проблеми та перспективи гірничої промисловості.....	7
1.2. Особливості ведення гірничих робіт на глибоких горизонтах.....	12
1.3. Мета, основні задачі та методи роботи.....	20
РОЗДІЛ 2	
ПАРАМЕТРИ І КРІПЛЕННЯ ВИРОБОК ВЕЛИКОГО ПЕРЕРІЗУ ТА ФАКТОРИ ЩО НА НИХ ВПЛИВАЮТЬ.....	
2.1. Параметри кріплення капітальних виробок.....	22
2.2. Напружено-деформований стан порід при прохідці виробок великого перерізу.....	33
2.3. Дослідження стійкості великопрольотних виробок при різних схемах розробки вибою.....	44
РОЗДІЛ 3	
ДОСЛІДЖЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ КРІПЛЕННЯ ВЕЛИКОПРОЛЬОТНИХ ВИРОБОК.....	
3.1. Дослідження ймовірності деформації кріплення за статистичними даними.....	48

3.2. Вплив неповного контакту кріплення з породним масивом на її несучу здатність та стійкість виробки.....	52
3.3. Розрахунок впливу неповного контакту кріплення з породним масивом на стійкість виробки.....	55
ВИСНОВКИ.....	59
Список джерел.....	60

## ВСТУП

**Актуальність теми** Кріплення виробок великого перерізу є невід’ємною та складною частиною проектних та виконавчих робіт, від їх проходки та надійної роботи залежить безперебійна робота гірничо-видобувного підприємства, вартість вугілля, безпека підземних робітників. З сучасною тенденцією до підвищення глибини закладення вони не завжди дають достатній рівень безпеки, швидкості та економічної доцільності при виконанні робіт. Через це розробка оновлених рекомендацій з підвищення несучої здатності кріплення виробок великого перерізу є актуальною темою.

**Мета дослідження** – розгляд та аналіз факторів, що впливають на несучу здатність кріплення, та методів що дають можливість підвищити несучу здатність постійного кріплення великопрольотних виробок.

Основні задачі дослідження:

1. Провести аналіз існуючих досліджень та сучасних діючих схем кріплення виробок великого перерізу.
2. Визначити методи, що дають можливість більш ефективно впливати на стійкість кріплення та оточуючих порід виробок та знизити економічну витратність їх підтримання.
3. Надати рекомендації з методів впливу на несучу здатність кріплення, що будуть давати максимальний рівень швидкості, безпеки та економічної ефективності при їх встановленні та експлуатації.

**Об’єкт дослідження** – процес встановлення та експлуатація кріплення виробок великого перерізу.

**Предмет дослідження** – параметри кріплення виробок великого перерізу.

**Методи досліджень** – у роботі використовується комплексний метод досліджень, до якого входять теоретичні, аналіз існуючих робіт та досліджень за темою роботи.

**Наукова новизна** Проведено аналіз напружено-деформованого стану порід, що вміщують виробки з великою площею поперечного перерізу. Виконано

розрахунок впливу контакту кріплення з масивом порід та ймовірності деформації кріплення за статистичними даними.

**Практичне значення** Вплив величини прольоту виробки на статистичну ймовірність деформації її кріплення та обчислений вплив різного ступеню контакту кріплення з оточуючим породним масивом значно впливають на її несучу здатність, що має враховуватися при проектуванні будівництва великопрольотних виробок.

## РОЗДІЛ 1

### ПРОБЛЕМИ ГІРНИЧОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ В ЇЇ РОЗВИТКУ

#### 1.1. Проблеми та перспективи гірничої промисловості в Україні

На даний момент економіка та енергетика України значно залежать від підземних розробок. Багато країн світу переходять до альтернативних джерел енергії та відмовляються від гірничої промисловості, і в Україні це питання стає лише складнішим та важливішим, як в економіці та енергетиці, так і в охороні навколишнього середовища.

Близько 47% електростанцій країни працюють на тепловій енергії (рис. 1.1) [1], і це робить неможливим швидкий перехід на будь-які джерела електроенергії, що не залежать від вугільної промисловості. Вугілля становить близько 95% від всіх власних енергоносіїв України, що використовуються. Це робить неможливим відокремлення процесу ліквідації вугільних підприємств від переходу з теплової енергетики до будь-якої іншої.

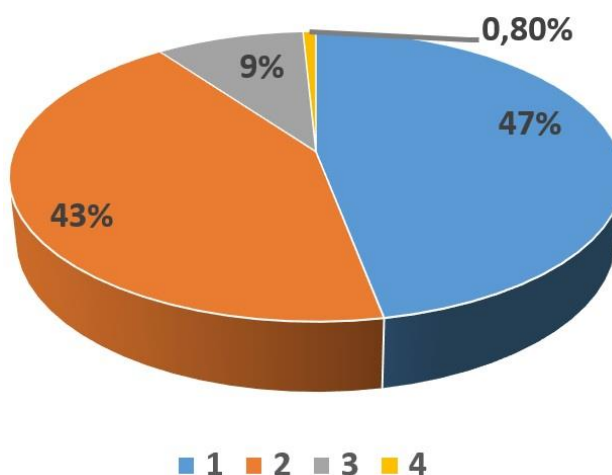


Рис. 1.1. Сегменти електроенергетики України

1 – ТЕС, 2 – АЕС, 3 – ГЕС, 4 – інші



Важливим фактором, що впливає на перспективи вугільної промисловості, є металургія. В цій сфері немає альтернатив, що дозволили б відмовитися від використання коксівного вугілля. Саме через підвищення швидкості розвитку металургійної промисловості Китай повністю відновився від експорту вугілля, а в Британії в 2013 були тимчасово відкриті уже ліквідовані на той час шахти.

В Україні відсутні фінансові можливості для різкого збільшення обсягів видобутку нафти і природного газу на розвіданих і діючих родовищах. Паливно-енергетичний баланс країни характеризується значною часткою природного газу в порівнянні із середньосвітовими показниками.

Через це, та в зв'язку зі зростом ціни на природний газ, без явної тенденції до її зниження, перед теплоенергетичними і промисловими підприємствами та побутовим сектором виникла необхідність або енергозбереження, або переходу на альтернативні енергоносії та технології. Обмежуючими факторами є фінансові можливості та час[2].

Понад 200 років існує вугільна промисловість на території України, і за цей час вона лише збільшувала свій вплив як на економіку та екологію, так і на соціальну складову на територіях Донбасу, Дніпровського та Львівсько-Волинського вугільних басейнів. За цей час гірничі роботи з видобутку вугілля ведуться або велися на 210,3 тис. км<sup>2</sup>, це близько 35% території сучасної України [3]. Через це питання збереження навколишнього середовища стає дуже важливим як при проведенні нових виробок, так і при ліквідації існуючих.

Через масштаб існуючих територій, що залежать від підземних розробок, з'явилась велика кількість так званих «депресивних територій» [3]. Багато міст по всій Україні залежать від існуючих на їх території підземних виробок, і ліквідація таких підприємств буде тягнути за собою дуже великі наслідки. Наприклад, на ліквідацію однієї шахти на Донбасі витрачається близько 200 мільйонів гривень [4]. До витрат на ліквідацію вугільної шахти з вичерпаним ресурсом входять витрати на демонтаж обладнання, розборку ліній електропередачі та зв'язку, заходи по знесенню будов на поверхні, герметизації шахтних стволів, ліквідації шурфів, стволів та водовідливів. Фінансова витратність також обумо-

влена необхідними природоохоронними заходами, які передбачають технічне вирішення проблем водовідливу та передбаченню вибухів та газових викидів [1]. Але навіть з такими витратами не закривається питання так званих «депресивних територій».

Ситуація з масовим закриттям шахт в вугледобувних регіонах привела до необхідності диверсифікації діяльності вугільних підприємств з вичерпаним ресурсом. В сучасній науці є декілька розробок підходів до цієї проблеми.

Однією з таких розробок є post-mining – комплекс заходів, що відносяться до економічно стимулюючих, природоохоронних та соціальних. Ці відновлюючі заходи націлені на покращення стану регіонів, в яких порушено баланс розвитку через гірничі розробки.

Наприклад пропонується використання технологій підземної газифікації, що дозволить використати решту запасів вугілля, яке не вигідно розробляти традиційними способами. За цією технологією решта запасів перетворюється на теплову енергію, яка після цього може бути передана на поверхню. Це може дозволити зменшити економічні втрати від нерентабельних розробок[3].

Також можливим варіантом використання шахт, як закритих так і діючих, є видобуток метану, що знаходиться в вугленосних породах. Все частіше піднімається тема економічної обґрунтованості видобутку вугілля на глибоких горизонтах. Метан, через особливості його видобування, вигідно видобувати навіть з допомогою свердловин, що мають протяжність понад 3000 м.

Для виробок, що мають водовідливні комплекси, пропонується варіант з розміщення в них водоочисних комплексів, що могло б покращити економічну ситуацію з закритими шахтами, які вимушені працювати в режимі водовідливу для регулювання гідрогеологічного середовища.

Степова зона, в якій розташовані депресивні вугледобувні регіони, може служити додатковим джерелом сонячної і вітрової енергії. Вже досить давно існують технології, що дозволяють таким чином використовувати території. Створений таким чином, технологічний комплекс може дати відчутний для території сукупний ефект в вигляді альтернативної енергії і знизити збитковість і

фінансову залежність депресивного регіону в цілому за рахунок зниження витрат на енергоносії та створення нових підприємств.

Як видно з вищесказаного, post-mining - це складна система технологій з використання додаткових можливостей шахти і території в цілому. Для повноцінної роботи всіх частин комплексних заходів з відновлення території якісного управління потребується система геомоніторингу. Така система дозволить виконувати відновлюючі заходи з максимальною ефективністю, запобігати негативних явищ та дасть можливість вчасно отримувати інформацію про ресурси території. Ці технології можуть застосовуватися як для промислових цілей (прогнозування та розвідка родовищ метану, виявлення нестабільних зон і теплових аномалій), так і для сільськогосподарських і комунальних (прогнозування врожайності, моніторинг стану водо-, тепло-, газових комунікацій)[3].

Особливе місце у вирішенні проблем post-mining займають технології, націлені на системи охорони здоров'я і збереження навколишнього середовища. Саме вони в сукупності з промисловими розробками та технологіями, працюючи паралельно з економіко-правовими механізмами можуть допомогти розв'язати проблеми депресивних територій, та навіть дати їм можливість досягти стабільності та певного розвитку.

Дуже велике значення має здатність системи споживати ресурси (біологічні, фізичні, людські) меншими темпами, ніж темпи відновлення цих ресурсів.

Важливою частиною комплексних заходів є відстеження та слідкування за здоров'ям людей, проживаючих на відновлюваній території. Для його покращення post-mining пропонує використовувати технології з покращення екологічного стану оточуючої середовища, такі як очищення води, повітря та ґрунту. Сортування відходів з вилученням компонентів, що можуть використовуватися як вторинна сировина, очищення води від шкідливих речовин та очищення ґрунту від елементів, що шкодять аграрним системам можуть значно вплинути на як загальний екологічний стан регіону, так і на стан здоров'я проживаючих в ньому людей. Також видобуток металовмісних компонентів з побутових відходів є частиною хімічного комплексу заходів [3].

Інші варіанти вирішення проблем територій, на яких велися гірничі роботи, пропонує комплекс технологій *synchro-mining*. Його основні ідеї в багатьох аспектах співпадають з ідеями *post-mining*, але деякі варіанти використання розробленого підземного простору відрізняються.

З 2010 року Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» проводить розробку концепції, що отримала назву *Synchro-mining*. Її основною ідеєю є введення самостійних бізнес-проектів, які могли б працювати як самостійно та паралельно з основною діяльністю шахтного підприємства, так і використовуючи підземний простір закритих шахт.

До таких бізнес проектів відносяться промисловий туризм, агрокомплекси, комплекси по генеруванню екологічно чистої електроенергії, парк-музеї, комплекси підземної гідроелектростанції, технопарки, комерційне використання гірничих виробок [1].

Наприклад використання практики промислового туризму, адаптації існуючих виробок під парки-музеї та технопарки, дало можливість використання 30-ти вугільних підприємств в Великобританії, і багато з нових об'єктів тепер охороняються ЮНЕСКО. Ці об'єкти привертають увагу багатьох туристів, що вирішує економіко-соціальний аспект проблеми з новими робочими місцями.

Не менш ефективним є розміщення підземних комплексів гідроелектростанцій на базі вугільних шахт з вичерпаним ресурсом, де є робоча інфраструктура з водовідливу. Прикладом такого використання виробок може бути остання кам'яновугільна шахта Німеччини «Проспер-Ханіель». На її базі планується збудувати гідроакумулюючу станцію потужність 200 МВт. Цього буде достатньо для забезпечення електроенергією 400 тис. жилих будинків [1].

Основні методи боротьби з наслідками масштабних підземних розробок, на яких базується концепція *Synchro-mining* – це бізнес проекти, більшість з яких цілком незалежна від необхідності підземного розміщення. Але такий спосіб використання існуючого розробленого підземного простору з налагодженою інфраструктурою дає можливість багатьом бізнес проектам витратити значно

менші кошти, водночас покращуючи соціально-економічний стан оточуючих населених пунктів.

## 1.2. Особливості ведення гірничих робіт на глибоких горизонтах

В сучасному стані та на даному етапі розвитку гірничої промисловості відстежується явна тенденція до збільшення глибини ведення підземних робіт, в тому числі розробки родовищ вугілля. Закономірним наслідком збільшення глибини проведення робіт з будівництва виробок є погіршення гірничо-геологічних умов. Збільшується частота вивалів та зміщень порід, викидів газу та вугілля, проривів води до виробок, гірських ударів.

На даний момент розвиток вугільної промисловості в Донецькому басейні продовжується в основному завдяки освоєнню вугільних запасів на великих глибинах. Понад 60% вугільних шахт Донецького басейну ведуть розробки на глибині понад 600 м, з них близько 20% шахт – на глибині понад 1000 м.

При будівництві виробок глибокого закладення збільшується частота виникнення проблем, пов'язаних з гірничо-геологічними умовами. Часто проблеми виникають ще до закінчення процесу будівництва та початку експлуатації виробок, що веде до збільшення витрат на їх ремонт та відновлення.

На діючих горизонтах вугільних шахт України до 70% промислових запасів припадають на пологі і похилі пласти зі складними гірничо-геологічними умовами. Більша кількість всіх вугільних шахт України експлуатуються в складних гірничо-геологічних умовах.

При експлуатації капітальних та підготовчих виробок річний об'єм їх ремонту та заміни кріплення становить інколи до 35% від їх загальної протяжності[5]. В капітальних та підготовчих виробках глибокого закладення частка, яку доводиться перекріпляти в процесі експлуатації за рік, інколи становить понад 65% від загальної протяжності.

При проведенні комплексу виробок в масиви порід виникає перерозподіл напружень. Через це виникають зони деформованих порід, зрушення та зсув

порідних оголень. Часто виникають техногенні тріщини в масиві порід, що веде до його руйнування.

Зі збільшенням глибини гірничих робіт частково змінюються фізичні та механічні властивості та їх поведінка при розробці, зростає гравітаційна складова гірського тиску, температура підвищується до 40-55 °С. З часом при експлуатації шахтного підприємства постійно збільшується кількість відпрацьованих ділянок, інколи відбувається підробка запобіжних ціликів, запаси корисних копалин розташовані в пристволовому дворі та близько від водойм та розташованих на поверхні об'єктів можуть вийматися.

Змінюється просторова структура масиву, це може призвести до зміни геофізичного середовища, після чого частіше за все відбувається самоорганізація складної механічної системи «об'єкт-породний масив».

Ця система може проявлятися в геодинамічних явищах, які негативно позначаються на ефективності роботи підприємства та потребують значних робіт для їх ліквідації, а після – ремонту та відновлення виробок. Часто зустрічаються такі прояви цієї системи, як пученіє порід ґрунту, вивали порід покрівлі, гірські удари, інтенсивне газовиділення, самозаймання вугілля, раптові викиди вугілля, породи і газу, раптові прориви води в вугільних шахтах та ін.

Геологічна порушеність гірських масивів властива майже всім вугільним родовищам Центрального району Донбасу. Збільшення глибини розробки веде до зменшення рівня розвіданості геологічного стану та геологічних порушень в масивах порід. При цьому коли глибина проведення гірничих виробок збільшується на 100-120 м – частота порушень зростає на 5-7% [6].

Зазначені явища та загальне погіршення умов ведуть до збільшення витрат на ремонт і підтримання виробок в експлуатаційному стані, величина яких збільшується з погіршенням геомеханічних та гірничо-геологічних умов, що більше всього залежить від збільшення глибини проведення виробок [7] (рис. 1.2).

Підвищення стійкості гірничих виробок є однією з найважливіших задач в підземному будівництві підприємств з видобутку корисних копалин. Трудо-

місткість кріплення виробок становить 40-50% і більше від загальної трудомісткості робіт по будівництву гірничої виробки. Витрати на кріплення виробок становлять 30-60% загальної вартості спорудження[5].

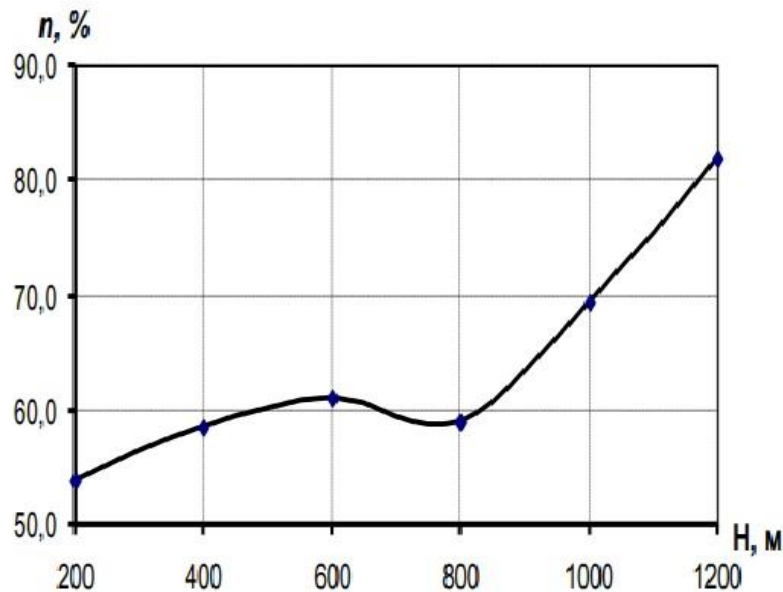


Рис. 1.2. Залежність частоти порушень в вугільних пластах від глибини їх залягання

У зв'язку з погіршенням гірничо-геологічних умов проведення та кріплення виробок через збільшення глибини ведення гірничих робіт, і не дивлячись на збільшену за останні роки в 1,4 рази металоємність кріплення і широке застосування тампонажу закріпного простору, щорічний обсяг перекріплення виробок становить 10-15% від загального обсягу споруджуваних виробок [7], а на глибоких горизонтах він досягає 65%.

Металеве кріплення є основним видом кріплення горизонтальних гірничих виробок вугільних шахт. В даний час близько 80% всіх виробок кріпляться металевим кріпленням. І є тенденція до розповсюдження використання металевого кріплення.

В шахтах України 72% виробок кріпляться металевим рамним кріпленням, 10,9% - збірним залізобетонним, 7% - дерев'яне кріплення, 3,2% - комбіноване кріплення. Металеве та комбіноване анкерні кріплення становлять 0,7 та

0,5% відповідно. Кріплення з монолітного бетону використовується в 5,7% випадків[8].

Питома вага таких виробок щорічно збільшується приблизно 0,8-1,2 Н/м<sup>3</sup>. В той же час, маса застосовуваного для виготовлення кріплення спеціального профілю щорічно зростає на 10%. Незважаючи на стійке зростання обсягу застосування важких спецпрофілів (СВП27, СВП33), обсяги ремонту гірничих виробок залишаються досить значними.

Протяжність виробок, що знаходяться в незадовільному стані, в різних шахтах та в залежності від вугільного басейну, в якому вони розташовані, становить від 15 до 50% загальної протяжності підтримуваних виробок.

Збільшення глибини гірських робіт на шахтах Донбасу призвело до зростання середньої величини несучої здатності кріплення в 2,5 рази, збільшення вартості кріплення в 2,3 рази, а трудомісткості - в 3,7 рази. Щорічно протяжність виробок потребуючих ремонтних або відновлюючих робіт збільшується на 2-3%.

В значній частині шахт Донбасу ведуть роботи на глибині понад 500-600 м, і витрати на підтримку капітальних гірничих виробок постійно зростають. При щорічному збільшенні глибини розробки на 8-10 м з достатньою впевненістю можна прогнозувати подальше зростання витрат на проведення та підтримання виробок, якщо не будуть знайдені ефективні способи забезпечення їх експлуатаційного стану з мінімальними витратами[9].

В процесі освоєння підземного простору змінюються технології його подальшого використання. Розробляються нові методи та плани з подальшого використання відпрацьованих виробок. У цьому випадку особливо зростає роль забезпечення тривалої стійкості гірничих виробок для їх подальшого використання для нових цілей. Зведення потужних довговічних конструкцій кріплення в період будівництва гірничої виробки потребують залучення значних капітальних витрат з досить значним періодом, за який витрати себе виправдають. У більшості випадків таке рішення є економічно недоцільним.



Гірничі виробки, що за станом не відповідають вимогам для експлуатації, викликають збільшення витрат на ремонт та відновлення. Також це призводить до зменшення ефективності видобутку вугілля, що також тягне за собою погіршення економічного стану підприємства.

Донецький басейн розташований в межах південно-східної частини України. Головним чином в Луганській, Донецькій та Дніпропетровській областях України. А також охоплює Ростовську область в Росії. Площа становить близько 60 тис. км<sup>2</sup> (650x200 км), в тому числі в межах України 50 тис.км<sup>2</sup>. У центральній частині басейну знаходиться Донецький кряж - найбільш піднесена частина Лівобережної України.

Донецький вугільний басейн містить у собі близько 300 вугільних пластів, що розробляються. Майже всі вони пологі, що полегшує їх розробку, але близько 200 цих пластів мають потужність до 0,5 м. Найбільша потужність одиночних пластів може досягати 2-2,5 м.

Шахти, що розробляють пласти з крутим кутом залягання, частіше зустрічаються в Центральному регіоні України. В цьому регіоні пологі пласти складають всього близько 30% їх загальної кількості.

Найбільшими центрами видобутку є Донецьк, Макіївка, Горлівка, Дмитров, Торез, Свердловськ, Красноармійськ (Покровск). 60% шахт Донецького басейну вугілля видобувають на глибині понад 600 м. Ці шахти забезпечують більше половини видобутку. Середня глибина видобутку вугілля становить 800 м., А максимальна - понад 1300 м. 40% пластів небезпечні по викидах вугілля і газу. Наприклад, шахта ім. О.Ф.Засядька, абсолютне виділення метану на якій становить 250 м<sup>3</sup>/хв, а відносно - 75 м<sup>3</sup>/тонну видобутого вугілля.

Значна частина шахт України відрізняються високим рівнем виділення метану. Шахти низьких категорій по виділенню метану (до 10 м<sup>3</sup>/т добового видобутку – не газові, I і II категорії) становлять близько 22% всього числа шахт, 78% – шахти III категорії і надкатегорійні.

Збільшення глибини розробки вугільних шахт веде за собою зростання рівня виділення метану. Через це збільшується рівень ризику прояву загазова-

ності, що може проявлятися у викидах породи та вугілля шахту, раптових викидах газу та ін.

Мала потужність пластів призводить до необхідності одночасно розробляти кілька пластів. Лише 24% всіх шахт розробляють один пласт, решта – два і більше, у тому числі 16% всіх шахт одночасно розробляють більше 5 пластів.

До збільшення глибини розробок корисних копалин призводить вичерпання запасів на горизонтах з меншою глибиною залягання. При цьому істотно зростає гірський тиск, відбуваються деформації приконтурного масиву навколо виробок, що призводить до викидів порід у виробку, обдиманні порід ґрунту, а тим самим погіршуються умови експлуатації виробок, що вимагає значного зростання витрат на ремонтні роботи. Це призводить до зростання вартості сировини, що видобувається.

Як відомо, на глибоких шахтах здіймання порід підшви є наслідком деформаційних процесів, що охоплюють весь приконтурний масив в околиці виробки, при якій масштаби зсувів контуру виробки і руйнувань порід досить значні за величиною.

Швидкість здіймання порід після підризки зростає в кілька разів. Досвід ведення гірських робіт показує, що після 2-3-х підризок, виробку доводиться перекріпляти, інколи з проведенням додаткових ремонтних та відновлюючих робіт [10].

В даний час на глибоких шахтах України обсяг перекріплюваних виробок досягає 50% від загальної кількості пройдених, а відремонтованих – на 70% перевищує їх протяжність. При цьому більше 40% виробок ремонтується ще до здачі в експлуатацію, 52% діючих виробок деформовано. Погіршення стану виробок через процес деформацій порід навколо виробок становить 45% від загального обсягу деформованих.

Часто в капітальних виробках виникає необхідність проведення багаторазових ремонтів, а в умовах глибоких шахт Донбасу при стовповій системі розробки пластів, кратність ремонтів в підготовчих виробках становить 2-3 і більше.

Найбільш загальною формою прояву гірського тиску є деформування гірських порід, що призводить до втрати ними стійкості, формуванню навантаження на кріплення, динамічним явищам (гірничих ударів, раптових викидів). Тому при проведенні гірничих виробок попередньо розраховують гірничий тиск для визначення міцності несучих елементів підземних споруд (стінок виробок, ціликів і кріплень) і вибору способів управління гірським тиском.

У реальних природних середовищах діє велика кількість факторів, іноді сильно впливають на зміну значення гірського тиску (наприклад, спрямованість тектонічних сил, як правило, викликає нерівність горизонтальних складових).

Подальше зростання зсувів в часі обумовлений реологічними властивостями гірських порід. За інших рівних умов зміщення збільшуються з ростом глибини розробки і зменшенням показників міцності і модуля деформації порід.

Роль кріплення у виробках зводиться до запобігання надмірного розвитку зони непружних деформацій і обвалення порід. При досить великій жорсткості кріплення вона працює в режимі заданої (або взаимовлияющих) деформації і гірське тиск виникає внаслідок того, що кріплення сприймає приріст зсувів з моменту її установки, який залежить від тиску ( $p$ ). Тому останнім можна визначити з умови спільності зсувів:  $U_t(p) = U_0 + U_t^k(p)$

де  $U_t(p)$  - зміщення поверхні виробки в момент часу  $t$ ;

$U_0$  - зміщення поверхні виробки до настання контакту між кріпленням і цією поверхнею;

$U_t^k(p)$  - зміщення контуру кріплення в момент часу  $t$ .

Використання податливого кріплення веде до того, що породи в зоні їх напружено-деформованого стану відшаровуються від оточуючого їх масиву. Це веде до збільшення навантаження на кріплення, також викликаючи в кріпленні режим заданого навантаження.

При зміщеннях кріплення, розрахованих його податливістю, зменшується тиск. Відповідно, в такому випадку зменшення жорсткості кріплення веде до пропорційного зменшення тиску на нього.

Цією можливістю зниження навантаження користуються на практиці, створюючи в кріплення різні вузли і елементи податливості. Але менша реакція кріплення викликає збільшення розмірів зони напружено-деформованого стану породи, яка збільшує вплив на кріплення своєю вагою. Через це збільшення податливості кріплення має певну межу з оптимальною жорсткістю, яка може відрізнятись в залежності від гірничо-геологічних умов.



Рис. 1.3. Розшарування порід в зоні приконтурного масиву[11]

При неможливості регулювання жорсткості постійного кріплення (наприклад, монолітної бетонної або залізобетонної) тиск на неї знижують, зводячи кріплення на достатній відстані від вибою і через достатній період від оголення. У період від моменту утворення оголення до зведення постійного кріплення відповідні ділянки вироблення підтримуються тимчасовим кріпленням. Для виробок, що не випробовують впливу очисних робіт, типове значення зміщення контуру виробки становить 20- 40 см, а тиск на кріплення - 100-200 кПа. Однак в залежності від типу кріплення, глибини розробки, властивостей порід та інших факторів ці величини можуть змінюватися в кілька разів.

Вплив очисних робіт призводить до збільшення зсувів контуру виробки. Якщо виробка безпосередньо примикає до лави - зміщення досягають половини виймаємо потужності пласта. З метою зменшення цього впливу застосовують різні способи охорони гірничих виробок.

### 1.3. Мета основні задачі та методи досліджень

Постійне збільшення глибини розробки та інтенсифікація гірничих робіт на шахтах вимагають реалізації комплексу заходів, спрямованих на підвищення надійності і безпеки праці, а також на зниження вартості і матеріаломісткості технологічних засобів. В цьому плані повторне використання виробок при відпрацюванні вугільних запасів дозволить скоротити витрати і час на підготовку нових видобувних ділянок, що знизить собівартість вугілля і підвищить рентабельність підприємств.

Робота складається з розгляду та аналізу літератури за темою роботи, результатів лабораторних, натурних та експериментальних досліджень. Використовувались дослідження із застосуванням чисельного методу.

Розглянуто особливості параметрів кріплення виробок з великою площею поперечного перерізу та факторів, що впливають на його несучу здатність.

Основними задачами були розгляд та аналіз існуючих джерел інформації за темою роботи, узагальнення інформації та покращення рекомендацій на основі дослідження із застосуванням чисельного методу.

Висновки:

1. Підвищення стійкості виробок в довгочасній перспективі має важливе значення через нові розробки щодо подальшого використання шахт з вичерпаним ресурсом корисних копалин.
2. Тенденція до розробок корисних копалин на глибоких горизонтах та відповідне погіршення гірничо-геологічних умов ведення робіт призводить до потреби в підвищенні стійкості виробок.

## РОЗДІЛ 2

### ПАРАМЕТРИ І КРІПЛЕННЯ ВИРОБОК ВЕЛИКОГО ПЕРЕРІЗУ ТА ФАКТОРИ ЩО НА НИХ ВПЛИВАЮТЬ

#### 2.1. Кріплення капітальних виробок та його параметри

Вибір параметрів кріплення при проектуванні виробки має ключове значення в тому, які проблеми можуть виникнути в процесі її експлуатації. Правильний підбір параметрів залежить від призначення виробки, її розташування відносно вугільних пластів та оточуючих порід, властивостей цих порід та інших факторів.

Переріз гірничої виробки – це її розмір та форма. Саме ці дві характеристики мають найважливіше значення при плануванні її будівництва.

За формою виробки бувають – абочні, прямокутні, трапецієвидні, сводчачі, круглі, еліпсоїдні та ін.

Площа перерізу виробки визначається в проходці та у світлі. Переріз в проходці визначається по контуру порід, до зведення кріплення та розміщення устаткування в виробці. Переріз у світлі визначається по внутрішньому контуру постійного кріплення виробки, згідно проектної документації по її будівництву.

Площа поперечного перерізу у світлі визначається, виходячи з габаритів рухомого складу, експлуатаційного обладнання і пропускною спроможністю виробки по вентиляції. Для пересування людей прохід шириною 0,7 м та висотою 1,8 м від ґрунту виробки. На посадочних майданчиках проміжок від рухомого складу з обох боків повинен бути не менше 1 м [12].

Боковий переріз між кріпленням виробки або частиною обладнання, що виступає і віссю канату при дорогах крісельного типу на висоті зажиму підвіски повинен складати, не менше 0,6 м. а проміжок між віссю і конвеєром - не менше 1 м. При локомотивній відкатці висота підвіски контактного проводу повинна складати не менше 2 м від головки рейок. Допустиме підвішування

контактного проводу на висоті не менше 1,8 м від головки рейок при перевезенні людей по виробкам або за допомогою окремих людських ходків.

По альбомах типового перерізу з урахуванням прийнятого виду кріплення і транспорту при експлуатації, кількість шляхів, ширині колії підбирають відповідний поперечний переріз виробки і виписують з альбомів усі розміри та інші дані про нього.

Для забезпечення нормальної роботи підземних споруд необхідно застосовувати спеціальні заходи по їх охороні, що забезпечують підвищення стійкості породних оголень.

Так як стійкість залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід і діючих в них напружень, способи охорони виробок спрямовані на зміну цих факторів. Це досягається використанням сприятливих природних гірничо-геологічних умов, в тому числі розташуванням виробок в міцних породах, їх спрямуванням щодо пластів, контактів, тріщин.

Істотний вплив на стійкість надає напрямок виробок щодо структурних неоднорідностей масиву гірських порід (шаруватість, кліваж і ін.). Так, з обстежених 7100 м виробок, проведених по простяганню, деформовано 87%, а з 8300 м виробок, проведених хрестом простягання, - всього 32%. Тому треба прагнути розташовувати виробки, в основному великопрольотні, по можливості ближче до напрямку навхрест простягання [13].

На відміну від руйнування потужної товщі однорідних монолітних порід, яке виражається у вигляді утворення навколо виробки тріщин зсуву, при малошаруватих породах деформації проявляються у вигляді розшарування окремих шарів по площинах ослаблення і їх поздовжньо-поперечного вигину з втратою стійкості, що зображено на рис. 2.1.

В цьому випадку для забезпечення задовільного підтримки сполучення кріплення повинне володіти значним запасом міцності і достатньою податливістю. Цей спосіб охорони набуває особливого значення в складних гірничо-геологічних умовах глибоких шахт.

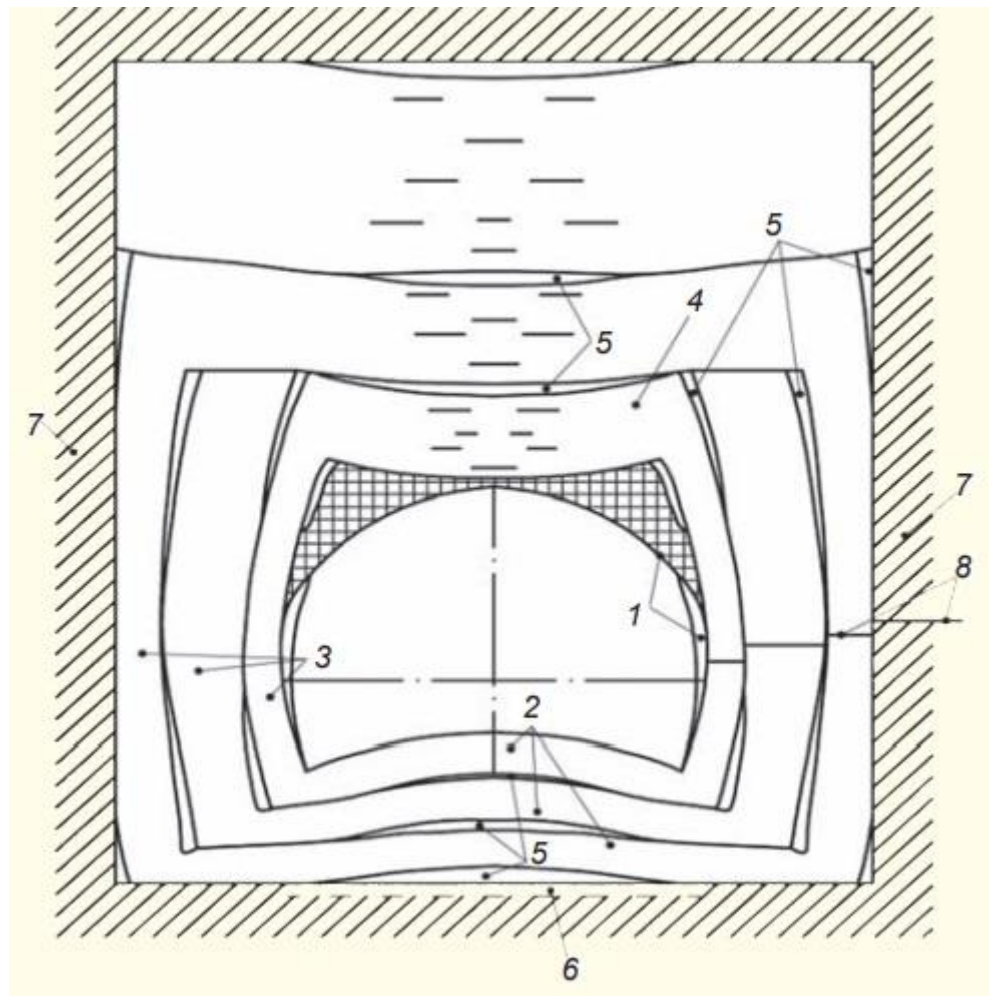


Рис. 2.1. Схема деформації порід приконтурного шару [11]:

1 – металеве аорчне податливе кріплення; 2 – деформовані породи підосви виробки; 3 – деформовані бокові породи 4 – деформовані породи покрівлі; 5 – пустоти та тріщини в деформованих приконтурних породах; 6 – вода; 7 – непорушений масив вмiщуючих порід; 8 – позначаючий шар

Напружений стан масиву гірських порід навколо підземної споруди може знижуватися при зміні форми поперечного перерізу виробки, її надробці і підробці, розвантаження масиву гірських порід свердловинами, раціональному взаємному розташуванні виробок.

Великий вплив на напружений стан порід у контуру гірничої виробки і на її стійкість надає форма поперечного перерізу. При гідростатичному полі напружень найбільш стійкі виробки круглої форми. На невеликих глибинах вибір раціональної форми може з'явитися достатньою умовою стійкості виробки [13].



Ефективним заходом щодо зниження напруженого стану масиву гірських порід є його надробка. При цьому під виробленим простором утворюється розвантажена від напруг зона, в якій доцільно розташовувати виробки.

Іноді підвищення стійкості виробок досягається їх раціональним взаємним розташуванням. Особливої важливості цей захід набуває в умовах розробок глибоких горизонтів. Неправильне взаємне розташування виробок може викликати додаткові деформації порід навколо виробок. Сполучення виробок рекомендується проводити одночасно.

Параметрами способу підтримки виробок зміцненням порід, в яких проводиться виробка, є: несуча здатність і податливість тимчасового кріплення, які забезпечили б підтримку вироблення до освіти оболонки з зміцнених порід.

При призначенні часу виробництва тампонажних робіт, від якого залежить ефективність зміцнення, слід враховувати ряд факторів: оболонка з зміцнених порід повинна виконувати основні несучі функції кріплення і, отже, зводитися якомога ближче до забою; формування зони інтенсивної тріщинуватості, яку можна зміцнювати, практично закінчується через 30 діб. після проведення виробки; тампонажні роботи не повинні заважати проведенню (необхідний технологічний розрив у часі). Встановлено, що оптимальне відставання тампонажних робіт від прохідницьких становить в середньому 20-30 діб. У разі необхідності перекріплення виробки спочатку доцільно провести зміцнення вмещуючого масиву, щоб уникнути викиду породи і запобігти деформації нового кріплення.

Існує гранична глибина тампонування, далі якої зміцнювати породи не має сенсу, так як це не буде позначатися на несучій здатності затампонованої оболонки. Практика доводить, що затампоувати масив за межами зони інтенсивної тріщинуватості через недостатнє розкриття тріщин не вдається, тому глибина тампонування визначається межами області інтенсивної тріщинуватості, яка сформувалася навколо виробки до моменту зміцнення[13].

Розчини, призначені для зміцнення порід, повинні володіти проникаючу здатність, після затвердіння підтримувати потрібний рівень зміцнення масиву,

бути стійкими до агресивного середовища, мати низьку вартість. Цим вимогам в достатній мірі відповідають чисто цементні і цементно-піщані розчини з водоцементним ставленням від 1:2 на початку нагнітання до 1:1 в кінці. Тиск нагнітання доводиться до 1 МПа. Розчини готуються з цементу, піску, води, прискорювачів схоплювання і твердіння, пластифікуючих добавок.

Для кріплення з набризк-бетону, що має вельми тісний контакт з породою і фактично працює як одне ціле, розрахунок напружень можна в першому наближенні вести за формулами визначення напружень в навколишньому виробки масиві порід. На користь такого рішення говорить надійне зчеплення набризк-бетону з породою, його проникнення в тріщини і, нарешті, досить, близькі механічні та деформаційні характеристики бетону і породи.

У сполученнях з монолітно-бетонним кріпленням, що будується в опалубці, можуть зустрічатися ділянки з міцним зв'язком кріплення з оточуючими породами і ділянки без такого зв'язку. Наявність надійного зв'язку залежить як від міцності властивостей порід, так і від якості зведення кріплення - ретельності і надійності забутовки закріпного простору, відсутність незаповнених порожнин за кріпленням через значні переборюючи породи.

Монолітне кріплення доцільно зводити без міцного зв'язку з оточуючими породами, тобто застосовувати податливу забутовку закріпного простору (шлак, пінобетон, у виняткових випадках - роздроблену породу).

Найбільш ефективним є застосування двошарового кріплення (монолітно бетонне кріплення з податливим шаром з пінопласту між кріпленням і породою). Наявність подібних піддатливих шарів, з одного боку, вирівнює розподіл навантаження від гірського тиску на кріплення, з іншого - порушує контакт між породним масивом і кріпленням і зменшує величину температурних напружень в кріплення до 2,0-2,5 МПа на глибинах понад 350 м. через складність зведення такого кріплення слід віддавати перевагу кріпленням, які працюють спільно з навколишнього породою, тобто необхідно забезпечити найкращі умови для зв'язку з масивом (подальша цементация, поєднання з анкерним кріпленням, застосування набризк-бетону і т.д.) [13].

При слабких породах і відсутності впливу очисних робіт доцільно застосовувати металобетонне кріплення з жорсткою арматурою.

На сполученнях, які потрапляють в зону впливу очисних робіт, тобто фактично всіх сполученнях обхідних похилих виробок, металобетонне і бетонне кріплення піддаються значним деформаціям. Металеве арочне кріплення в цих умовах не піддається руйнівним деформаціям. Конструктивної податливості кріплення досить для реалізації зсувів бічних порід.

Для підвищення стійкості сполучень, а також протяжних ділянок виробок, що споруджуються в слабких породах в умовах впливу опорного тиску, необхідно застосовувати металеве аркове податливе кріплення, а на ділянках, які не зазнають впливу очисних робіт, - металобетонне кріплення з жорсткою арматурою; в міцних нетріщинуватих необводнених породах - набризк-бетонне кріплення; в слабо-тріщинуватих - анкерне в поєднанні з набризк-бетонним; в тріщинуватих обводнених породах - бетонне і металобетонне кріплення з жорсткою арматурою, попереднє тампонування порід і подальше тампонування закріпного простору.

Утворення тріщин порід, які переносять багаторазову дію сейсмічних коливань при вибухових роботах, викликає згодом псевдопластичні деформації. Для їх зменшення необхідно зміцнювати породи приконтурного масиву на глибину 1,5-2,5 м шляхом ін'єкції в'язучого матеріалу [14].

У практиці спорудження гірничих виробок широке поширення знайшли кілька видів кріплень, що застосовуються як самостійно, так і в комбінації з іншими кріпленнями (анкерним, рамним, двошаровим, з використанням зміцнених порід і ін.).

З усіх існуючих набризк-бетонних кріплень можна виділити запобіжні, суцільні несучі, арочну «врозбіжку», комбіновані, кріплення з набризк-бетонного покриття з подальшим ін'єкційним кріпленням.

Запобіжні кріплення являють собою покриття товщиною від кількох міліметрів на виступах до 5-7 см на западинах породної поверхні виробки. Ці

кріплення найчастіше застосовуються як тимчасові або є складовою частиною постійних кріплень.

В якості постійного таке кріплення застосовують у виробках, розташованих в досить стійких породах і призначених для запобігання породних оголень від вивітрювання, а також утримання невеликих місцевих вивалам і відшарувань на ділянках локального ослаблення породного масиву. Крім того, при нанесенні цієї суміші заповнюються порожнечі і тріщини в породах, викликані вибуховими роботами або природними причинами, на глибину до 0,2 м. При цьому збільшується стійкість оголень, декілька згладжуються нерівності контуру, зменшується аеродинамічний опір і поліпшується естетичний вигляд виробки.

Товщина застосовуваної суцільного несучого кріплення з набризк-бетону 12-20 см. При повному контакті з породним масивом товщині еквівалентної бетонної, що будується в опалубці, має в 2-2,5 рази більшу несучу здатність. Армування металевою сіткою або гнучкою стрижневий арматурою збільшує її несучу здатність в 1,3-1,5 рази [13].

У недостатньо стійких породах процес зведення такого кріплення може бути розбитий на два етапи. Безпосередньо у вибою виробки слідом за проведенням зводять перший шар (запобіжне кріплення) товщиною 5-7 см, що виконує функції тимчасового кріплення. Потім за зоною інтенсивних зсувів породного контуру наносять другий шар набризк-бетону, що заповнює тріщини, що утворилися в першому і остаточно формує кріплення.

Сутність зведення аркового кріплення врозбіжку полягає в тому, що періодично по довжині виробки зводять арки з набризк-бетону розрахункової товщини і ширини (10-30 см), а простір між ними заповнюють тонким шаром набризк-бетону. Несучу здатність такого кріплення можна змінювати в певному діапазоні, варіюючи товщину арок з набризк-бетону, відстань між ними, а також шляхом їх армування металом. Однак подібне рішення в кожному конкретному випадку вимагає техніко-економічного обґрунтування.

Параметри комбінованої кріплення з набризк-бетону і анкерів можна змінювати в широких межах за рахунок довжини і щільності установки анкерів, товщини набризк-бетонного покриття і тривалості проміжку часу між установкою анкерів і набризком. Використання комбінованого кріплення дає можливість виключити основні недоліки, притаманні кожній з них окремо.

Залежно від конкретних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов застосовують різні конструкції комбінованого кріплення.

Використовують переважно металеві або залізобетонні анкери, встановлені з суцільною металевою сіткою з металевими смугами по периметру виробки.

Основний шар набризг-бетону доцільно зводити після установки анкерів. Для підвищення стійкості породних оголень при великій тріщинуватості приконтурного масиву слід здійснити початковий набризк відразу за проведенням, тобто створити запобіжне кріплення, а потім після установки анкерів нанести вторинний шар. При такому способі підвищується несуча здатність кріплення в цілому, так як більш раціонально використовується металева частина покриття (сітка, смуги і т.п.), що виконує роль арматури, яку в цьому випадку розташовують ближче до зони розтягуючих напружень[13].

До комбінованих відносяться також рамні кріплення (металеві та збірні залізобетонні) в поєднанні з набризк-бетоном, який наноситься тонким шаром і виконує роль затяжки, а також зміцнює приконтурний масив і захищає метал і породні оголення від шкідливого впливу рудного повітря.

Передумови для повної механізації процесу кріплення створює застосування двошарового кріплення з пінопласту і набризк-бетону. Її зведення здійснюється послідовним набризком пінопласту і бетону. Область застосування такої кріплення обмежується виробками, проведеними комбайнами, так як є підстави вважати, що набризк-бетон на податливому підставі при вибухових роботах буде відчувати великі розтягують напруги і руйнуватися.

Принцип роботи кріплення з набризк-бетонного покриття з подальшим тампонажем полягає в максимальному використанні вмещаючих виробку порід як основного несучого елемента. Вона зводиться в такий спосіб.

Слідом за проведенням вироблення наноситься шар набризк-бетону товщиною 3-5 см. Він виконує функції тимчасового кріплення, ізолює порідну поверхню виробки від витікання тампонажного розчину і вивітрювання зовнішніми агентами. Через 10-30 діб після проведення виробки, зруйновані породи за набризк-бетонним покриттям зміцнюються нагнітанням скріплюючого розчину в приконтурний масив. Тампонажний розчин заповнює і скріплює тріщини в породному масиві і набризк-бетонному покритті. Кріплення обмеженої податливості забезпечує режим роботи системи "кріплення - масив гірських порід" до моменту набризкування бетону, збільшуючи працездатність конструкцій в цілому. Параметри чисто набризк-бетонних кріплень визначаються:

- основними фізико-механічними властивостями;
- підбором складу бетону;
- типом і кроком установки анкерів (кроком рам);
- товщиною набризк-бетонного покриття.

При проектуванні набризк-бетонних кріплень рекомендується користуватися нормативними показниками опору набризк-бетону дії різних навантажень.

Різноманітність застосовуваних при набризк цементів, заповнювачів і прискорювачів ускладнює підбір оптимального складу сухої суміші. Зазвичай в кожному конкретному випадку склад суміші підбирають за допомогою виготовлення та випробування зразків з тих матеріалів, які передбачається використовувати. Кращими за гранулометричним складом наповнювачів є суміші, які з мінімальним вмістом цементу забезпечують проектну міцність набризк-бетону при найменшій величині відскоку.

Ефективність застосування набризк-бетонного кріплення обумовлена високим ступенем механізації процесу зведення, здатністю здійснювати надійне підтримання великопрольотних виробок легкими конструкціями, меншою витратою матеріалів на зведення, винятком ряду трудомістких операцій при

зведенні (наприклад, монтажу і демонтажу опалубки, забутовки закріпного простору), довговічністю кріплення, скороченням витрат на підтримання виробок, зменшенням площі їх перетину при проведенні та ін. Відповідно при застосуванні набризк-бетонного кріплення скорочується вартість і трудомісткість її зведення, знижуються транспортні витрати на доставку кріпильних матеріалів і видачу породи від проведення гірничих виробок в порівнянні з рамним кріпленням, витрати на провітрювання внаслідок зменшення коефіцієнта аеродинамічного опору закріплених набризк-бетоном виробок. Набризк-бетонне кріплення підвищує протипожежну безпеку виробок, покращує їх санітарний стан, розвантажує шахтний підйом і рудничний транспорт.

Набризк-бетон, заповнюючи нерівності в породі, зменшує площу оголеної поверхні, завдяки чому напружений стан порід по периметру виробки, стає більш однорідним. Бетон заповнює розриви і тріщини, що ослабляють масив, згладжує нерівності, які можуть стати причиною небезпечних концентрацій напружень. Застосування такого кріплення підвищує безпеку гірничих робіт, так як кріплення можна вести слідом за проведенням, дозволяє легко пристосовувати набризк-бетонні кріплення до нових гірничо-геологічних умов шляхом зміни товщини покриття і використання підсилюючих елементів (сітки, анкерів, металевих арок і ін.), зменшувати площу поперечного перерізу виробки начорно. Саме набризк-бетонне покриття є свого роду індикатором, чутливо реагує на зміну гірського тиску у виробці.

До істотних недоліків набризк-бетонного кріплення можна віднести високу запиленість, значні втрати матеріалів, підвищену витрату цементу, складність технології ведення робіт, складність контролю товщини шару і рівномірності його нанесення, слабке зчеплення з гладкими поверхнями, погану видимість під час нанесення шару, велика витрата стисненого повітря. Однак ці недоліки носять тимчасовий характер: у міру проведення досліджень вони будуть поступово зникати.

Досвід застосування набризк-бетонного кріплення показав, що в сполученнях, проведених в дуже міцних пісковиках, вапняках і пісковиках з коефіці-

єнтом міцності  $f=8-12$ , слід зводити ізолюючу кріплення товщиною 2-5 см; в пісковиках, піщанистих сланцях і сланцевих пісковиках з коефіцієнтом міцності  $f=5-6$  суцільну кріплення товщиною 10-15 см або комбіновану (анкери через 1,0-1,5 м в ряду і між рядами і шар набризк-бетону товщиною 3 см); в глинистих сланцях і пісковиках з коефіцієнтом міцності  $f=4$  комбіновану кріплення (анкери через 1,0-1,5 м і шар набризк-бетону товщиною 10-15 см); в сланцях, роздроблених пісковиках і вапняках з коефіцієнтом міцності  $f = 3-4$  - комбіновану кріплення (анкери через 0,7-1,0 м, набризк-бетон товщиною 10 см з металевою сіткою або арки через 1 м в набризк-бетоні товщиною 10 -15 см з металевою сіткою); при чому анкери у всіх випадках повинні застосовуватися з монозакріпником на основі цементного розчину з добавками; в сланцях, вапняках, кам'яному вугіллі з коефіцієнтом міцності  $f=2$  - комбіноване кріплення (металеві арки через 1 м в набризк-бетоні товщиною 15 см з металевою сіткою). У сполученнях зі слабкими породами, по яким проводиться виробка, які не зазнають впливу очисних робіт, рекомендується застосовувати металобетонне кріплення з жорсткою арматурою, а в сполученнях з такими ж вміщають породами, але що потрапляють в зону впливу очисних робіт (фактично у всіх сполученнях обхідних похилих виробок), - податливе металеву арочне кріплення, здатне поглинати зміщення бічних порід без деформацій.

Для кріплення сполучень капітальних виробок, проведених в міцних нетріщинуватих необводнених породах, необхідно застосовувати набризк-бетонне кріплення, в слаботріщинуватих - анкерне в поєднанні з набризк-бетонним, в сильнотріщинуватих нестійких або середньостійких - бетонне і металобетонне кріплення з жорсткою арматурою з попереднім тампонуванням цих порід, а потім - закріпного простору.

Набризк-бетонне кріплення може успішно застосовуватися для кріплення сполучень капітальних виробок в міцних однорідних породах, що не мають явно виражених порушень у вигляді розкритих тріщин і розколів, в породах сухих або слабовологих без струмного виділення води з тріщин. При цьому товщина набризк-бетону у міцних слаботріщинуватих породах повинна бути 5 см, в се-



редньотріщинуватих - 7-8 см, в сильнотріщинуватих - 8-10 см (обов'язково в поєднанні з залізобетонним анкерним кріпленням і затягуванням металевою сіткою). У досить міцних породах набризк-бетон наноситься після установки анкерів. У менш стійких породах доцільно спочатку нанести тонкий шар набризк-бетону (2-4 см), а потім встановлювати залізобетонні анкери із затягуванням і по ним наносити другий шар до проектної товщини кріплення або нагнітати за набризк-бетон через анкери-ін'єктори цементний розчин.

2.2. Особливості напружено-деформованого стану породного масиву при проходці в ньому виробок великого перерізу

У загальному комплексі питань, які необхідно вирішувати при будівництві виробок великого перерізу і, зокрема великопрольотних, особливе місце займає проблема підтримки стійкості породного оголення безпосередньо після розкриття вибою і в момент зведення тимчасового кріплення, оскільки до закінчення його зведення проходить від 5 до 20 годин, а в окремих випадках і більше. При цьому слід враховувати, що в таких виробках відразу після вибуху формується значна площа оголення не тільки по її периметру, а й по глибині, так як довжина заходки становить, як правило, 3-4 м.

Все це вимушує прохідників використовувати в якості тимчасового огорожувального кріплення громіздкі конструкції у вигляді опалубки і чорнового бетону або виконувати роботи, пов'язані з приведенням вибою в безпечний стан, навантаження породи і зведення тимчасового кріплення в зоні підвищеної небезпеки. У цьому випадку підвищується трудомісткість цих

процесів і безпосередньо знижуються темпи проходки. Таким чином, питання забезпечення стійкості породного оголення, а також надійності конструкції тимчасового кріплення при проходці великопрольотних виробок є головними, і для їхнього вирішення велике значення мають відомості про напружено-деформований стан породного масиву, оскільки саме воно є причиною всіх

механічних процесів, що відбуваються в навколишньому масиві і в контурі виробки (втрата стійкості, вивали, обвалення, гірські удари, викиди).

Слід зазначити, що напружено-деформований стан породного масиву, очевидно, є домінуючим фактором і в визначенні навантаження на кріплення підземної споруди. Отже, коректність розрахунку її конструкції багато в чому залежить від правильного уявлення про напружено-деформований стан породного масиву і механічних процесах, що протікають навколо виробки.

В результаті розвитку наших уявлень про характер механічних процесів, що мають місце в приконтурному масиві, і про форму їх реалізації виникло велике число гіпотез, що претендують на пояснення цих явищ і вирішення головної проблеми – розрахунку навантаження на кріплення і, як наслідок, визначення її конструктивних параметрів.

Умовно всі наукові роботи, присвячені напружено деформованому стану породного масиву можна розділити на два напрямки: роботи, в основу яких покладені «гіпотези сил», і роботи, основу яких складають «гіпотези деформацій» [15].

Згідно із гіпотезами, в роботах першого напрямку навантаження на кріплення формується виключно силами гравітації, тобто вагою товщі порід, що вміщуються в масиві (повною чи частковою). Розрахунок навантажень при цьому ведеться в статичній постановці завдання без врахування взаємодії породного масиву з кріпленням. До недоліків робіт цього напрямку можна віднести те, що в їх розрахунках відсутні деформаційні процеси, що відбуваються в породному масиві навколо виробки.

При такому підході немає необхідності визначати зміщення в контурі виробки. Таким чином, розрахунок конструкції кріплення виробки ведеться аналогічно розрахунку конструкції наземної споруди за заданими навантаженнями. Інакше кажучи, весь розрахунок ділять на три етапи: визначення зовнішніх навантажень, внутрішніх сил (або напружень) і перевірка міцності самої конструкції. При цьому кріплення розглядають або поза масивом гірських порід, тоді вплив останнього замінюють зовнішніми розподіленими напруженнями, або як

конструкцію на пружній основі, яка зазнає крім зовнішніх навантажень ще і пружний опір з боку основи.

Гіпотези цієї групи на сучасному етапі розвитку механіки гірських порід можна вважати окремими випадками повної картини взаємодії кріплення і породного масиву.

Розвиток уявлень про механіку гірських порід призвело до важливого висновку про те, що проблема визначення зовнішніх навантажень на кріплення не може бути вирішена без врахування взаємодії кріплення з масивом і їх спільної деформації, від якої залежить кінцеве навантаження на кріплення, причому останнє можна розглядати при розрахунку поза масивом, що є принциповим. Це положення і лежить в основі досліджень, віднесених до напрямку - «гіпотези деформацій». Теоретичною базою гіпотез цього напрямку є розгляд масиву гірських порід з точки зору механіки суцільного середовища [15].

У зв'язку з утворенням гірничої виробки в масиві відбувається порушення початкового напружено-деформованого стану, тобто перерозподіл напружень і деформацій в приконтурній зоні виробки – практично утворюється нове поле напружень, що характеризується концентрацією напружень в заданому контурі виробки (рис 2.2) [15].

Встановлено, що на концентрацію напружень впливає, перш за все, форма і поперечні розміри виробки, а також її просторова орієнтація відносно поверхні землі (вертикальна, горизонтальна, похила).

На концентрацію напружень впливають деформаційні характеристики порід і їх розподіл в масиві (анізотропія і неоднорідність масиву), а також спосіб виконання робіт (буропідливний, комбайновий, гідравлічний та інші).

При цьому максимальна концентрація напружень має місце на контурі виробки або може бути зміщена вглиб масиву, якщо породи в околиці виробки мають підвищену деформованість. Розміри областей концентрацій напружень залежать від механічних властивостей гірських порід, що складають масив, і параметрів перерізу виробки.

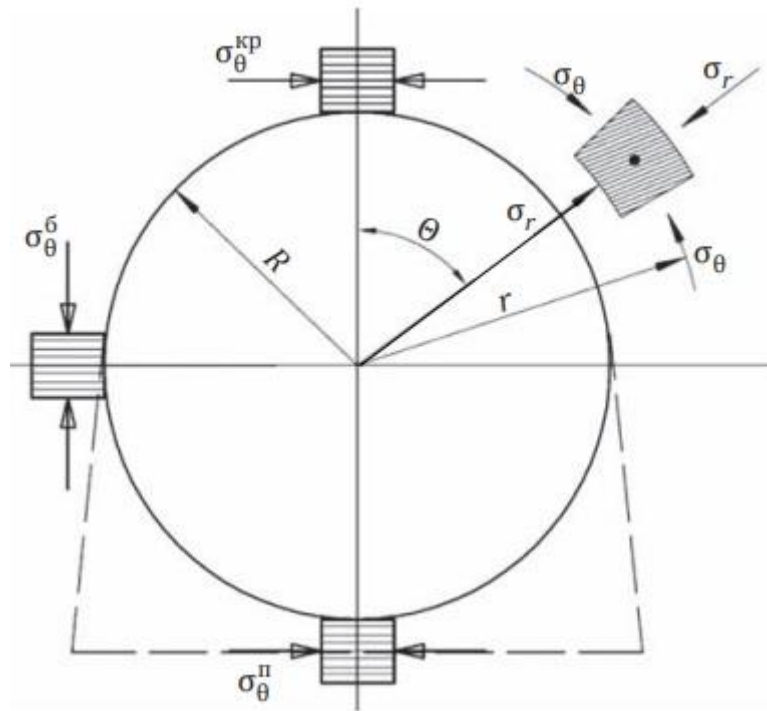


Рис. 2.2. Формування напруженого стану гірничого масиву навколо виробки:  $\sigma_{\theta}^{кр}$  і  $\sigma_{\theta}^{п}$  – стискаючі напруження, діючі в покрівлі та підосшві виробки паралельно шарам порід;  $\sigma_{\theta}^{\delta}$  – стискаючі напруження, діючі в бортах виробки перпендикулярно до шарів порід

Наслідком концентрації напружень навколо виробки є утворення зони непружних деформацій. Ці деформації розвиваються в часі і поширюються вглиб масиву. Деформації порід в зоні непружних деформацій зміщують контур виробки. У свою чергу ці зсуви породного контуру виробки створюють навантаження на кріплення. Якщо кріплення жорстке, а навантаження перевищує її несучу здатність, то кріплення може бути зруйнованим [16].

Кріплення, яке володіє піддатливістю, «йде» від тиску, і дозволяє таким чином утворитися навколо виробки зоні непружних деформацій. У цій зоні внаслідок реалізації зсувів відбувається зменшення напружень, тому її в поєднанні з кріпленням можна використовувати як несучу конструкцію, при цьому вона виконує роль підпірної стінки для порід цієї зони непружних деформацій [16].

Так як будь-яке кріплення має певну піддатливість, то зона непружних деформацій з плином часу стабілізується, тобто її поширення вглиб масиву припиниться [16].

Якщо жорстке кріплення зводити відразу в вибої, то на нього починає діяти (у міру просування вибою) навантаження від пластичних переміщень і пружних деформацій. Якщо ж кріплення встановлюють на деякій відстані від вибою, тобто пружні деформації і непружні зміщення контуру виробки вже мали місце, то навантаження на кріплення буде менше[16].

Істотний вплив у створенні навантаження на кріплення надає її конструкція, форма і площа поперечного перерізу виробки, фізико-механічні властивості порід в масиві, а також матеріал кріплення. Встановлено, що тиск на кріплення створюється активним навантаженням, що виникає за рахунок зміщення контуру виробки, і реактивним опором породи, який залежить від деформацій кріплення і фізико-механічних властивостей породного масиву.

З огляду на ці фактори, вчені прийшли до висновку про те, що для обґрунтованого вибору конструкції і режиму роботи кріплення необхідно знати умови, в яких вона буде діяти, і відповідно вибирати її параметри, тобто піддатливість і несучу здатність. Прийнята конструкція кріплення повинна витримувати розрахункове навантаження [16].

Таким чином найважливішим фактором підвищення стійкості виробок великого перерізу, крім вибору типу кріплення, її несучої здатності і схеми взаємодії з навколишнім масивом, є правильний вибір технології виконання робіт. Очевидно, вибір розумного поєднання конструкції кріплення і технології проведення робіт зі спорудження виробки є оптимальним вирішенням проблеми її проведення та підтримки при мінімальних витратах[17].

В даний момент в гірничорудній промисловості широко поширеним способом цілеспрямованого впливу на масив є застосування піддатливих типів кріплень замість жорстких. Такий підхід виправданий лише при правильному підборі характеристик кріплення (піддатливості і вантажонесучій здатності) і при відсутності якісної зміни геомеханічних умов будівництва підземних споруд.

Тому вирішити проблему підтримки гірничої виробки тільки цим способом при відповідних гірничо-геологічних умовах не являється можливим. Це пояснюється тим, що в складних геомеханічних умовах зміщення можуть досягати 1 м і більше, тому процес ув'язки технології будівництва з реалізованими механічними процесами пішов за двома напрямками.

Відповідно до першого напрямку пропонується проходити виробку такого перерізу, який після реалізації очікуваних зміщень, які встановлюються аналітичними або іншими методами, буде відповідати проектному перерізу. Цей метод в даний час широко використовують у світовій практиці будівництва підземних виробок. В якості тимчасового кріплення застосовують піддатливі кріплення зі спецпрофілю, а після стабілізації зсувів арки зі спецпрофілю замонолічують бетоном[16].

Однак при проектуванні виробок великого перерізу виникає питання, навіщо потрібно підтримувати деформовані і зруйновані породи, адже дослідження на стадії проектування, за допомогою яких ми визначаємо зміщення, такі ж надійні, як і вихідні дані, якими ми оперуємо. Крім того, при такій технології будівництва отримуємо значні перебори порід (особливо для виробок великого перерізу), а невисока надійність вихідних даних призводить до думки про те, що цей спосіб є не зовсім вдалим.

Другий напрямок, серед існуючих на сьогоднішній день, є відомим під назвою методу подвійної проходки. Суть його полягає в тому, що виробку проходять в два етапи, і це дозволяє знизити, а в деяких випадках і звести до нуля зміщення проектного контуру виробки.

Для цього спочатку проводять випереджаючу виробку із врахуванням збереження проектного контуру виробки і дії в ньому мінімальних напружень. Після утворення навколо пілотної виробки зони непружних деформацій здійснюють розширення її до проектного контуру і зводять постійне кріплення. Випереджаючу виробку або кріплять піддатливим кріпленням, або, якщо дозволяє стійкість породи, не кріплять взагалі. При цьому основні зміщення в межах

проектного контуру виробки реалізуються під захистом породної оболонки (зони непружних деформацій).

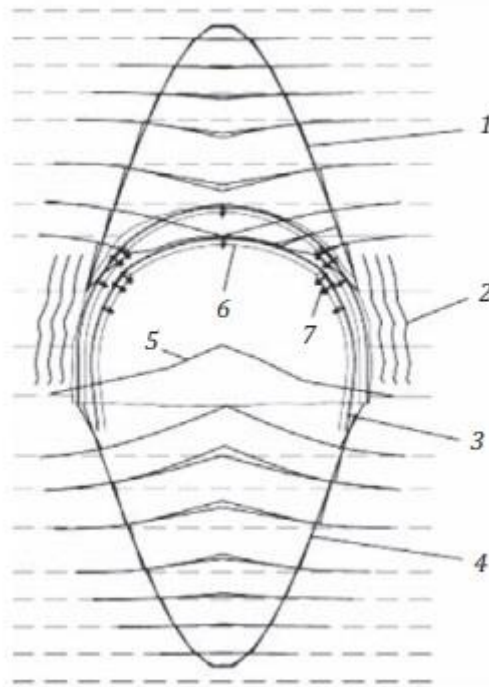


Рис. 2.3. Взаємодія кріплення з породним масивом в глибоких виробках:

1 – клин видавлювання в покрівлі; 2 – руйнування порід біля бортів виробки; 3 – заглиблення стійок кріплення в підосшву виробки; 4 – клин видавлювання порід в підосшві; 5 – пучіння порід підосшви; 6 – опускання порід покрівлі; 7 – зміщення порід в замках податливості

Породна оболонка спільно з тимчасовим кріпленням створює опір, що зменшує розміри зон непружних деформацій. Зрозуміло, що якщо правильно підібрати розміри передової виробки, а також час обробки вибою до проектного перерізу, то можна досягти повної реалізації зсувів породного масиву.

Поетапний метод розкриття вибою великопрольотної виробки, причому зі зміщенням кожної ділянки вибою уздовж осі виробки і кріпленням його бічної поверхні полегшеним піддатливим кріпленням, дозволяє запобігти розущільненню порід в цілому у проектному контурі виробки, що розвивається в результаті прояву гірського тиску.

На цьому ж принципі заснований новий австрійський тунельний метод, запропонований ще в 1948 році, який набув значного поширення у багатьох країнах світу [16].

Суть цього методу полягає в максимальному збереженні і використанні несучої здатності приконтурного масиву внаслідок реалізації строго контрольованих деформацій завдяки застосуванню піддатливого або напівпіддатливого кріплення, яке щільно контактує з масивом. В якості такого кріплення зазвичай застосовують анкери в поєднанні з набризк-бетоном, що встановлюються в кілька етапів, при цьому кожна наступна партія встановлюється в міру вичерпання піддатливості попередньої. Таким чином, встановлене кріплення зупиняє деформації породи і в кінцевому рахунку забезпечує її стабільність до моменту зведення постійної виробки, або саме грає її роль.

З огляду на специфіку технології будівництва виробок великого перерізу, слід зазначити, що керування напружено-деформованим станом породного масиву в момент розкриття підсклепінної частини камери є особливо складним процесом.

Складність полягає в тому, що у відносно невеликому обсязі гірського масиву знаходиться значне число виробок різного типу (вертикальних, горизонтальних і похилих) з різною орієнтацією відносно одна одній, причому більшість виробок сполучені одна з одною і фактично відчувають взаємовплив як на стадії проходки, так і після неї [16].

Ускладнюючою обставиною є той факт, що кожна наступна виробка проходить по зміненому напруженому стані масиву. Це створює додаткові труднощі особливо при проходці камерних виробок. Розміри цих виробок, як зазначалося раніше, мають ширину (проліт) до 35 метрів, при цьому висота їх часом досягає 60 метрів і більше. Форма поперечного перерізу камер визначається головним чином призначенням виробки, інженерно-геологічними умовами вміщуючого масиву, динамікою прояву і напрямком поширення гірського тиску.



На сьогодні найбільшого поширення набули такі форми поперечного перерізу: коритоподібна, підковоподібна, напівциркульна і овальна, причому в останні 10-20 років домінують коритоподібна і овальна.

Оскільки геометричні розміри поперечного перерізу камерних виробок (проліт і висота) досить значні, розрахунку конструкції кріплення таких виробок надають особливого значення і виконують його зазвичай окремо для склепіння, стін і ґрунту.

Технологія будівництва великих камер починається, як правило, з розкриття її підсклепінної частини і зведення в ній постійного кріплення, що власне і є найскладнішим і найбільш небезпечним етапом будівництва.

За формою поперечного перерізу склепіння явно не являється виробкою круглого перерізу, а використовувані аналітичні методи розрахунку тунельних кріплень отримані саме для таких виробок, причому для класично пружних, ідеально пластичних та інших геомеханічних моделей у вигляді площини або півплощини з одним або декількома отворами, тому вільне перенесення цих рішень для таких завдань не в повній мірі задовольняє наших умов.

Більш того, практичне застосування «точних» рішень в замкнутому вигляді сильно обмежене через занадто великий відрив вкрай ідеалізованих розрахункових схем від реальних умов виникнення і розвитку напружено-деформованого стану породного масиву навколо виробки. Крім того, навіть при невеликих відхиленнях розрахункової схеми від найпростішої (круглий отвір в суцільному, однорідному ізотропному пружному, пружно пластичному або ідеально пластичному середовищі при рівномірному одноосьовому навантаженні), формули часто значно ускладнюються і стають незручними для безпосереднього використання в інженерних розрахунках. Тому аналітичні методи зазвичай застосовують в поєднанні з так званими «обсерваційними» методами, або емпіричними, з використанням результатів натурних вимірювань або модельних досліджень.

У сучасній практиці проектування підземних споруд аналітичні методи майже повністю поступилися місцем так званим числовим методам, пов'язаним

з використанням ЕОМ. Серед великого різноманіття числових методів в області геомеханіки набули поширення методи кінцевих елементів, кінцевих різниць, граничних інтегральних рівнянь та інших [18].

При розрахунку методом кінцевих елементів виконують аналіз рівнянь, що зв'язують напруження і переміщення елементів, вводять граничні умови і вирішують рівняння щодо переміщень, за якими потім обчислюють напруження. Перевага методу полягає в швидкості вирішення і досить хорошему обліку фізичних і структурних властивостей матеріалів. Недоліками методу є труднощі обліку великих деформацій або геометричної нелінійності, фактору часу, зокрема, змінних навантажень[18].

Метод кінцевих різниць зводиться до вирішення законів руху замість матриць. Перевага такого підходу полягає в кращому, ніж в інших методах, обліку великих деформацій і в можливості вирішення пластичних задач, а також врахування фактору часу. Недолік методу – занадто велика тривалість вирішення: типову задачу вирішують на комп'ютері протягом чотирьох днів.

Інтенсивний розвиток в останні роки числових методів відкриває великі можливості для дослідження просторового напружено-деформованого стану практично будь-якої складності. Так, наприклад, метод граничних інтегральних рівнянь по універсальності значно поступається методу кінцевих елементів (істотний недолік – можливість отримання рішення тільки для однорідних тіл), але в ряді випадків (в першу чергу при вирішенні просторових задач) дає високу ефективність з точки зору вартості розрахунків[18].

Вирішальною перевагою методу граничних інтегральних рівнянь в порівнянні з методом кінцевих елементів та методом кінцевих різниць є значне скорочення числа розглянутих елементів дискредитації простору в результаті розбивки тільки граничної поверхні[18].

Подальші дослідження напружено-деформованого стану порід в процесі будівництва великомасштабних камер з використанням МКЕ дозволили встановити закономірності формування полей напружень та розподілу нормальних тангенціальних напружень в контурі склепової частини виробки грибовидних і

овальних форм перерізу. Зокрема, було встановлено, що опускання (осадка) склепу відбувається тільки в процесі розкриття підсклепінного простору, причому існує лінійна (зворотна) залежність опускання центральної частини склепіння від коефіцієнту бокового тиску порід в масиві, і, особливо важливо, при подальшому розкритті перерізу камери (її розробляють уступним способом) вертикальні зміщення поверхні склепіння або відсутні (в гравітаційному полі початкових напружень), або спостерігається зворотне переміщення склепіння вгору в тектонічному полі напружень. Таким чином, відповідальним моментом при будівництві великих камер є проходка її підсклепінної частини.

Отже, пошук і розробка методики керування напружено-деформованим станом масиву гірських порід при розкритті підсклепінної частини камер великого перерізу є проблемами, вирішення яких дозволить більш ефективно проходити такі виробки.

Застосування способу бічного уступу при розкритті склепіння з одночасною організацією робіт у всіх вибоях полегшує вирішення цього завдання. Однак врахування впливу вторинного (наведеного) поля напружень, викликаного наявністю випереджаючого вибою, на напружено-деформований стан порід в момент розкриття вибою до проектного обрису, мало досліджене. Тому метод прогнозування стійкості великопрольотних виробок, що споруджуються способом бічного уступу в поєднанні з принципом багатовибійної організації робіт, розрахунку і вибору параметрів перерізу випереджального і відстаючих вибоїв з урахуванням вторинного поля напружень, викликаного утворенням виробленого простору, дозволить краще забезпечити стійкість проектного перерізу виробки як в момент розкриття, так і в момент зведення кріплення.

### 2.3. Дослідження стійкості великопрольотних виробок при різних схемах розробки вибою

Вплив способу розробки вибою на стійкість виробки при її подальшій експлуатації був досліджений лабораторним методом в роботі [19].

Під час лабораторних досліджень різних способів розробки вибою були побудовані моделі. Під час розробки та побудови моделей використовувались матеріали, еквівалентні реальній породній масі [19].

Спосіб з використанням таких моделей має одне з найбільших поширень серед лабораторних методів досліджень процесів під час гірничих розробок. При його використанні можлива візуальна оцінка впливу певних технологічних факторів на масив гірських порід.

Даний метод з використанням побудованих моделей дозволяє керувати масштабом моделі, що дає можливість наближення умов реального експерименту до реальних. Також можливість вибору масштабу дає можливість визначення наукової точності проведених досліджень.

При проведенні цього лабораторного експерименту дотримувались максимальної подібності технологічних та механічних процесів, що відбувались відносно використаного еквівалентного матеріалу.

Для моделювання матеріалу використовувалась суха та подрібнена глина, послідовно розподілена рівними шарами та зволожена.

Характеристика міцності підібраного еквівалентного матеріалу в значній мірі залежить від способу ущільнення, тому визначення параметрів міцності зразків виконували після їх ущільнення навантаженнями, рівними попереднім напруженням в моделі [19].

Випробування для визначення фізико-механічних характеристик використовуваного матеріалу проводились на зразках циліндричної форми, діаметром 5,6 см і висотою 2 см.

Були визначені наступні характеристики матеріалу:

$$R_{сж}=0,146 \text{ МПа}; C=0,06 \text{ МПа}; \varphi_0=21^\circ; \gamma = 1,25 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3.$$

Імітована порода мала характеристики:

$$R_{сж}=15 \text{ МПа}; C=0,06 \text{ МПа}; \varphi_0=21.$$

Були побудовані моделі, що мали круглу та арочну форму. Радіус перерізу круглих моделей виробок складав 7,4 см. Моделі виробок арочного перерізу мали ширину проліту виробки 25 см, та висоту 9 см.

Дослідження проводили на спеціальному стенді, який дозволяє відтворювати в масиві плоско-деформований стан з будь-яким співвідношенням вертикальних і горизонтальних напружень [19].

Навантаження на модель спричиняють 24 гідродомкратами за допомогою пластин зі сталі розміром 150x120x20 мм. Для більш повної передачі прикладеного на модель навантаження бічні стінки з органічного скла змащують тонким шаром трансформаторного масла [19].

Зміщення контуру виробки реєстрували за допомогою індикаторів годинникового типу [19]. Мікродатчики з'єднані між собою в півміст, що включаються в ланцюг цифрового вимірювача деформацій. Перед закладенням в масив датчики тарують [19]. При проходці виробки на повний переріз навантаження на модель становило 0,056 МПа (у всіх випробуваннях вертикальне і горизонтальне навантаження були рівні), потім витримали модель дві години, зняли показники датчиків і приступили до проходки виробки.

Через 10 хвилин виробка була проведена і показники датчиків відразу ж зняли, потім модель витримали 2 години до повної стабілізації показників датчиків, зафіксували зміщення і почали збільшувати вертикальне і горизонтальне навантаження ступенями по 0,056 МПа.

На кожному кроці збільшення навантаження модель витримували 6 годин, знімали показники датчиків і фіксували зміщення контуру виробки, а потім продовжували навантаження моделі до повного руйнування [19]. У такій же послідовності була опрацьована модель для виробки аркої форми ( $B=25$  см і  $H=9$  см) [19].

Дослід був виконаний і про проходці виробки в два етапи. Підготовчі роботи були виконані в порядку, описаному раніше, потім почали навантаження моделі. При моделюванні проведення виробки круглої форми перерізу після першого кроку навантаження пройшли випереджаючу виробку, довели навантаження на модель до 0,112 МПа, допрацювали виробку до повного перерізу, зняли показники датчиків і продовжували навантаження моделі.

На кожному кроці навантаження масиву фіксували показники датчиків [19]. При моделюванні виробки склепінчастої форми роботи виконували в такій же послідовності як і раніше з різницею лише в тому, що в першому випадку при розподілі вибою на два уступи спочатку розробляли праву половину перерізу, а потім його ліву частину, а при розробці трьома уступами спочатку розробляли центральну частину, а потім бічні.

Із загального аналізу проведених досліджень на моделях з еквівалентних матеріалів встановлено, що форма поперечного перерізу виробки, а також послідовність розробки вибою істотно впливають на напружений стан масиву навколо виробки і зміщення її проектного контуру [19].

Так, при проведенні виробки на повний переріз вже при навантаженні на масив 0,112 МПа почали розвиватися деформації контуру виробки, в цей момент вони склали 0,75 мм, а при навантаженні 0,168 МПа – 4 мм. Подальше зростання навантаження привело до різкого наростання деформацій контуру виробки, які при навантаженні 0,224 МПа склали вже 8 мм, а при навантаженні 0,28 МПа виробка практично втратила свою стійкість (виробка арочної форми).

При проведенні виробки двома уступами встановлено, що деформації проектного контуру при навантаженні 0,112 МПа складають 0,65 мм, при навантаженні 0,168 МПа – близько 1,5 мм, однак при навантаженні 0,224 МПа деформації контуру вже 4,5 мм і, нарешті, при навантаженні на модель 0,28 МПа деформації складають 10 мм і продовжують наростати, виробка починає втрачати свою стійкість.

Проходка виробки трьома уступами показала, що в даному випадку при навантаженні 0,168 МПа переміщення склали 1,0 мм, при навантаженні 0,224 МПа – 2,2 мм, а при навантаженні 0,28 МПа – 8,5 мм, при подальшому збільшенні навантаження на модель зміщення стали різко наростати, що призвело до втрати стійкості виробки.

З метою запобігання гірських ударів при проведенні виробок великого перерізу і зниження собівартості гірничопрхідницьких робіт існує спосіб, що дозволяє знизити можливість гірського масиву за рахунок заміни запобіжного

цілини між паралельними виробками податливою залізобетонною перегородкою, утвореною при проходці виробки бічними уступами.

Проведення вироблення починають з розробки бокового уступу, який вдвічі менший площі перерізу виробки в вертикальній площині, причому на сполученні між замком зводу виробки і бортом уступу утворюють кут, рівний 70-80°.

У вершині гострого кута відбувається локалізація напруг і створюються умови рівномірного всебічного стиску масиву, за рахунок чого міцність породи зростає і напруги, що діють в масиві, стають недостатніми для його руйнування.

Після цього здійснюють зведення бетонного кріплення по перетину контуру уступу, яка створює підпір породам покрівлі та надає постійно зростаючий опір розвитку процесу руйнування масиву.

З відставанням по відношенню до бічного уступу розробляють уступ в поряд з бетонним кріпленням, що забезпечує ведення гірських робіт в захищеній зоні за рахунок дії вторинної обвідної напруги, викликаной проходкою другого уступу (розвантаження напруг масиву надробкою виробки).

По міру проходки уступу оголюється бетонне кріплення, яке в подальшому виконує роль суцільний бетонної перегородки, розташованої і орієнтованої в напрямку поздовжньої осі виробки, що розділяє виробку на дві самостійні магістралі.

Технологічні отвори, створені в перегородці в період зведення бетонного кріплення і службовці для технічних потреб, одночасно є і елементами податливості, які забезпечують роботу кріплення в податливому режимі, знижуючи тим самим можливість прояву гірських ударів і руйнування бетонного кріплення.

### РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ КРІПЛЕННЯ ВЕЛИКОПРОЛЬОТНИХ ВИРОБОК

### 3.1. Дослідження статистичної ймовірності деформації кріплення

Ймовірність деформації кріплення за даними, отриманими з дослідження виробок, можна вирахувати наступним чином.

Якщо для певних гірничо-геологічних умов вибрано кріплення з потрібною несучою здатністю, і вона встановлена з виконанням всіх технічних правил процесу, то стійкість виробки в певному конкретному випадку визначається за коефіцієнтом

$$k_y = \frac{q_{\text{пр}}}{q} \quad (3.1)$$

де  $q_{\text{пр}}$  – несуча здатність кріплення, а  $q$  – навантаження оточуючих порід, що діє на кріплення.

Стійкість гірничої виробки в усій її протяжності визначається показником стійкості  $\omega$ , що визначається за відношенням протяжності непошкоджених ділянок виробки до її загальної протяжності.

Значення коефіцієнта стійкості в певному конкретному січенні виробки представляє собою випадкову величину, через складну природу проявів гірничого тиску та технічні фактори.

Через це коефіцієнт  $k_y$  ( $S$ ) можна представити невизначеною функцією координат січення виробки  $S$ . Однак величина  $k_{\text{пр}}$  має певне визначене значення.

Якщо представити значення коефіцієнта стійкості виробки по її повздовжній осі як реалізацію випадкової функції, ординати якої на непошкоджених ділянках більше ніж значення  $k_{\text{пр}}=1$ , формується вже відома задача о викидах породи [20]

За основою цієї задачі формується визначення основної характеристики гірничої виробки – показник ймовірності її стійкості:

$$\omega = 1 - \Phi\left(\frac{k_{\text{пр}} - m_k}{\delta_k}\right) \quad (3.2)$$

де  $\Phi(t)$  – функція Лапласа, яка включає в себе наступні характеристики:



$\delta_k$  – дисперсія коефіцієнта стійкості виробки,

$m_k$  – середнє значення коефіцієнта стійкості виробки, що в свою чергу визначається за формулою:

$$m_k = \frac{m_{q_{\text{пр}}}}{m_q} \quad (3.3)$$

де  $m_{q_{\text{пр}}}$  – середнє значення несучої здатності кріплення,

$m_q$  – середнє значення навантаження, що впливає на кріплення.

Аналіз залежності показника стійкості  $\omega$  від статистичних величин навантаження та несучої здатності кріплення показав залежність зростання стійкості гірничої виробки від коефіцієнта стійкості  $m_k$ .

Збільшення показника даного коефіцієнта можливе лише зі збільшенням несучої здатності кріплення, або зі зменшенням впливу навантаження на кріплення.

Також отримати збільшення показника стійкості  $\omega$  можливо за рахунок зменшення показника дисперсії  $\delta_k$ , що характеризує нерівномірне навантаження на кріплення.

Більш рівномірне навантаження гірничого тиску на кріплення виробки по її повздовжній осі можна отримати за рахунок покращення умов контакту кріплення з масивом порід.

Найбільш поширеними методами формування контуру порід для кращого контакту з кріпленням виробки є:

- тампонаж закріпного простору,
- використання набрзк-бетону,
- забутовка закріпного простору,
- формування контуру порід при комбайновому методі проведення виробок.

Часто забезпечення стійкості виробки за допомогою дорогого кріплення на весь час її експлуатації являється не вигідним для підприємства. Значно ефективнішим може бути використання дешевого рамного податливого кріплення з

відносно низькою несучою здатністю, з проведенням профілактичних ремонтних робіт в подальшій перспективі.

Стійкість виробки як механічної системи характеризують математичне очікування коефіцієнта стійкості, його дисперсія і кореляційна функція.

Зазвичай при розрахунках кріплення для забезпечення стійкості капітальних виробках використовуються досить відносні показники гірничого тиску. Це пов'язано з їх протяжністю та складною поведінкою навантаження, яке складно прогнозувати навіть для точних перерізів виробки.

Більш точні дані про гірничий тиск можна отримати за допомогою спеціальних досліджень на місці проведення виробки, однак такий рівень точності даних неможливий до початку ведення робіт, і по протяжності виробки показники можуть значно різнитися.

Середнє навантаження на кріплення можна визначити наступним чином.

Середня значення коефіцієнта стійкості  $m_k$  визначається за формулою:

$$m_k = \frac{m_{qпр}}{m_q}$$

але показник  $m_k$  також може бути визначений за формулою:

$$m_k = 1 - \delta_k \arg\Phi(1 - \omega) \quad (3.4)$$

де  $\arg\Phi(1 - \omega)$  – аргумент функції Лапласа  $\Phi$  при її значенні, рівному  $(1 - \omega)$ ,

$\omega$  – статистичний показник ймовірності стійкості виробки,

$\delta_k$  – дисперсія коефіцієнта стійкості.

Прирівнюючи ці рівняння відносно  $m_q$ , отримаємо:

$$m_q = m_{qпр} [1 - \delta_k \arg\Phi(1 - \omega)] \quad (3.5)$$

Визначити показник  $m_{qпр}$  можна за формулою:

$$m_{qпр} = \frac{R_T W N}{R_o^2 [f(\lambda_o, K_p, \varphi_{max})]} \quad (3.6)$$

де  $N$  – число рам на 1 м виробки,

$R_0$  – напівпроліт вироки,

$W$  – момент опору поперечного січення кріплення,

$f(\lambda_0, K_p, \varphi_{max})$  – коефіцієнт, що залежить від коефіцієнта бокового тиску, технологічної конструкції кріплення та кута максимального згинаючого моменту,

$R_T$  – несуча здатність кріплення.

З цього виходить, що середнє навантаження на кріплення виробки з загальною стійкістю  $\omega$  може бути визначено за формулою:

$$m_q = R_T W N \{ R_0^2 [f(\lambda_0, K_p, \varphi_{max})] [1 - \delta_k \arg \Phi(1 - \omega)] \}^{-1} \quad (3.7)$$

Даний метод може використовуватися для визначення закономірностей гірничого тиску в залежності від факторів, що визначають гірничо-геологічні умови експлуатації конкретних родовищ.

Прикладом для розрахунку є північний ходок пласта  $l_1$  шахти «Алмазна». В ньому використовується арочне металічне кріплення із спецпрофілю СВП-33, канатні анкери та залізобетонна затяжка. Виробка проведення на горизонті 550 м.

Вихідні дані для розрахунку:  $R_T=500$  МПа,  $R_0=2,85$  м,  $k=0,33$ ,  $\lambda=0,5$ ,  $\delta_k=0,77$ ,  $\omega=0,85$ ,  $N=1,43$ .

Абсолютне значення коефіцієнта  $f(\lambda_0, K_p, \varphi_{max})$  визначається за довідником [Справочник по креплению горных выработок\ Голескул М.П., Хорин В.И., Киселев С.С., Бушуев Н.П. 1976].

Підставивши дані виробки до формули:

$$m_{qnn} = \frac{R_T W N}{R_0^2 [f(\lambda_0, K_p, \varphi_{max})]} \quad (3.7)$$

отримаємо  $m_q=127$  КПа.

Визначення середнього значення навантажень на кріплення виробок має велике значення як при плануванні, так і при будівництві та експлуатації гірничих виробок. Від нього залежить як безпека ведення робіт та їх умови, так і економічна складова, яка залежить від частоти ремонтних та відновлюючих робіт, що потребують виробки з недостатньою несучою здатністю кріплення.

### 3.2. Постановка задачі про вплив неповного контакту кріплення з породним масивом на її несучу здатність та стійкість виробки

Практика будівництва та експлуатації підземних виробок вже давно показала, що одним з найбільш ефективних способів підвищення стійкості виробок є щільне заповнення закріпного простору, що залишається після проходження виробки, особливо в випадку використання буропідривного способу проведення.

Найчастіше для заповнення закріпного простору використовується дрібна гірська порода, що залишається після проведення виробки. Цей спосіб показав себе як досить швидкий та дешевий, але недостатньо ефективний в плані підвищення несучої здатності кріплення. Причиною для цього служить велика трудомісткість робіт.

Дослідження виробок шахт ДТЕК «Добропіллявугілля» показало, що в більшості виробок, які використовують арочне рамне кріплення, в верхній частині кріплення залишається незаповнений простір. [8]

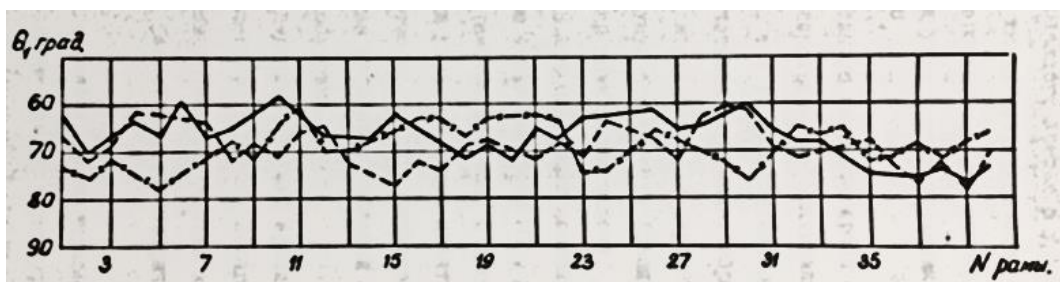


Рис. 3.1. Зміна кута  $\theta_1$  в виробках шахт ДТЕК «Добропіллявугілля»

$\theta$  – кут контакту верхньої частини кріплення та порід

Для дослідження використовувались дані виробок шахт «Білозерська», «Добропільська», та «ім. РККА» [8].

Під час цих досліджень було виявлено, що кут контактування кріплення з породою в верхній частині кріплення становить зазвичай від 60 до 80 градусів.

Для дослідження рівня впливу неповного контакту кріплення з породами використовується задача, розрахункова схема якої приведена на рис. 3.2.

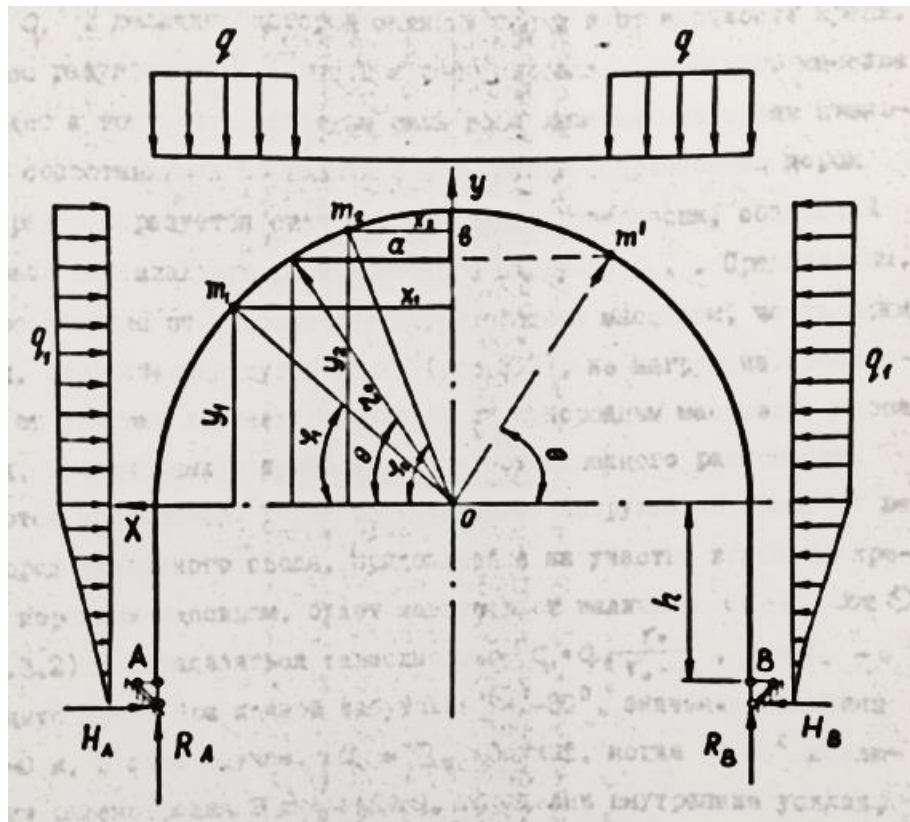


Рис. 3.2. Розрахункова схема задачі впливу неповного контакту кріплення та порід виробки [8]

Для численного оцінювання впливу неповного контакту контуру кріплення на її несучу здатність в задачі приймається, що породний масив має однорідну структуру, а кріплення виробки та його контакт з породами – симетричний.

Зона неупругих деформацій, що формується навколо виробки при її проведенні, формує навантаження  $q$ , яка залежить від оточуючих порід, глибини горизонту закладення виробки та рівня податливості кріплення.

Якщо розраховувати навантаження на кріплення виробки тільки в верхній частині, через відсутність повного контакту саме в ній, інтенсивність навантаження порід буде залежати від величини  $a=r_0 \cos \theta$  й буде визначатись залежністю:

$$q = q_0 \frac{r_0}{r_0 - a} \quad (3.8)$$

де  $r_0$  – радіус арки.

За умови повної забутовки закріпного простору кут  $\theta=90^\circ$ ,  $a=0$ ,  $q=q_0$ .  
 $h$  – висота прямолінійної частини кріплення. Ця частина рідше піддається деформаціям. Найчастіше деформаціям кріплення піддається верхняк.

Виходячи з прийнятої в розрахунковій схемі симетрії розрахунок буде обмежений точками, що мають координати  $0^\circ \leq \varphi_1 \leq \theta$ ,  $\theta \leq \varphi_2 \leq \frac{\pi}{2}$ ,  $0^\circ \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ .

Внутрішні згинаючі моменти, розподілені на кріпленні в ділянках її контакту за масивом порід, будуть мати вигляд:

$$\frac{M_1}{qr_0^2} = \frac{1}{2} \lambda \left[ k \left( \frac{1}{3} k + \sin \varphi_1 \right)^2 - (1 - \cos \theta)(1 - \cos \varphi_1) + H_A^I (k + \sin \varphi_1) \right] \quad (3.9)$$

для координати  $0^\circ \leq \varphi_1 \leq \theta$ ,

$$\frac{M_2}{qr_0^2} = \frac{1}{2} \lambda \left[ k \left( \frac{1}{3} k + \sin \varphi_2 \right)^2 + \sin \theta (2 \sin \varphi_2 - \sin \theta) \right] + \frac{1}{2} (1 - \cos \theta) (1 + \cos \theta - 2 \cos \varphi_2) - (1 - \cos \theta)(1 - \cos \varphi_2) + H_A^I (k + \sin \varphi_2) \quad (3.10)$$

для координати  $\theta \leq \varphi_2 \leq \frac{\pi}{2}$ ,

де  $H_A^I = \frac{H_A}{qr_0}$ ,  $\lambda = \frac{q_1}{q}$ ,  $H_A$  – значення реакції кріплення в точці опори А,  $\lambda$  – коефіцієнт бокового розпору.

Завдяки відомим диференційним залежностям поперечні та нормальні сили, що діють в кріпленні, можна визначити так:  $\theta = \frac{1}{r_0} \frac{dM}{d\varphi}$ ;  $N = -\left( \frac{dQ}{d\varphi} + \bar{q} r_0 \right)$ .

де  $\bar{q}$  – нормаль проведена до зовнішньої поверхні арки та являється складовою зовнішніх впливаючих навантажень:  $\bar{q} = q(\lambda \cos \varphi_1 + \sin \varphi_2)$ .

Вирази впливаючих поперечних сил визначаються відповідно до вище приведених виразів:

$$\frac{Q_1}{qr_0} = \frac{1}{2} \lambda (k \cos \varphi_1 + \sin \varphi_1) - \frac{1}{2} \sin 2\varphi_1 + \cos \theta \sin \varphi + H_A^I \cos \varphi_1 \quad (3.11)$$

для точки  $0^\circ \leq \varphi_1 \leq \theta$ ,

$$\frac{Q_2}{qr_0} = \frac{1}{2}\lambda(k + 2\sin\theta)\cos\varphi_2 + H_A^I \cos\varphi_2 \quad (3.12)$$

для точки  $\theta \leq \varphi_2 \leq \frac{\pi}{2}$ .

Вирази для нормальних сил  $N$  будуть мати вигляд:

$$\frac{N_1}{qr_0} = \frac{1}{2}(k\sin\varphi_1 - 2\cos\varphi_1) + \cos 2\varphi_1 - \cos\theta\cos\varphi_1 + H_A^I \sin\varphi_1 - (\lambda\cos\varphi_1 + \sin\varphi_1) \quad (3.13)$$

для точки  $0^\circ \leq \varphi_1 \leq \theta$ ,

$$\frac{N_2}{qr_0} = \frac{1}{2}\lambda(k + 2\sin\theta)\sin\varphi_2 + H_A^I \sin\varphi_2 \quad (3.14)$$

для точки  $\theta \leq \varphi_2 \leq \frac{\pi}{2}$ .

Невідомий показник  $H_A^I$ , що виражає опору в точці  $A$  визначається методом сил. В сумі з показником зміщення в точці  $A$  під впливом зовнішніх сил в випадку одиночного навантаження дає 0.

За показниками даних, що відображають зміщення в точці  $A$ , та за характеристиками зміни кутів відношення центра прольоту виробки до її верхньої частини визначається показник опору, що характеризує вплив внутрішніх сил в арочному кріпленні виробки.

У випадку розглядання конструкції на основі металічного арочного рамного кріплення показник руйнівного навантаження майже повністю залежить від величини максимального згинаючого моменту.

### 3.3. Розрахунок впливу неповного контакту кріплення з породним масивом на стійкість виробки

В випадку використання металевого рамного кріплення навантаження, що діють на кріплення та можуть призвести до його деформації та руйнування майже повністю залежать від згинаючих моментів діючих сил. Від загальних діючих сил лише 5-7% впливу становлять нормальні сили. Для визначення впливу неповного контакту кріплення з породним масивом на стійкість виробки було проведені наступні розрахунки.

За довідником [22] визначили, що  $\lambda=0,3; \frac{h}{r_0} = 0,35$ .

Були проведені розрахунки для кута контакту кріплення з породним масивом з показником 90, 80, 70 і 60 градусів. За формулами (3.9) та (3.10) були розраховані згинаючі моменти крайніх точок області неповного контакту:

$$\frac{M_1}{qr_0^2} = \frac{1}{2} 0,3 \left[ k \left( \frac{1}{3} k + \sin 50 \right)^2 - (1 - \cos 90)(1 - \cos 50) + H_A^I (k + \sin 50) \right] = 0,05$$

для координати  $0^\circ \leq \varphi_1 \leq \theta$ , при  $\theta=90$ .

$$\frac{M_2}{qr_0^2} = \frac{1}{2} 0,3 \left[ k \left( \frac{1}{3} k + \sin 70 \right)^2 + \sin \theta (2 \sin 70 - \sin 90) \right] + \frac{1}{2} (1 - \cos 90)(1 + \cos 90 - 2 \cos 70) - (1 - \cos 90)(1 - \cos 70) + H_A^I (k + \sin 70) = -0,07$$

для координати,  $\theta \leq \varphi_2 \leq \frac{\pi}{2}$ .

$$\begin{aligned} \frac{M_1}{qr_0^2} &= \frac{1}{2} 0,3 \left[ k \left( \frac{1}{3} k + \sin 50 \right)^2 - (1 - \cos 80)(1 - \cos 50) + H_A^I (k + \sin 50) \right] \\ &= 0,05 \end{aligned}$$

для координати  $0^\circ \leq \varphi_1 \leq \theta$ , при  $\theta=80$

$$\frac{M_2}{qr_0^2} = \frac{1}{2} 0,3 \left[ k \left( \frac{1}{3} k + \sin 70 \right)^2 + \sin \theta (2 \sin 70 - \sin 80) \right] + \frac{1}{2} (1 - \cos 80)(1 + \cos 80 - 2 \cos 70) - (1 - \cos 80)(1 - \cos 70) + H_A^I (k + \sin 70) = -0,05$$

для координати,  $\theta \leq \varphi_2 \leq \frac{\pi}{2}$ .

$$\begin{aligned} \frac{M_1}{qr_0^2} &= \frac{1}{2} 0,3 \left[ k \left( \frac{1}{3} k + \sin 50 \right)^2 - (1 - \cos 70)(1 - \cos 50) + H_A^I (k + \sin 50) \right] \\ &= -0,015 \end{aligned}$$

для координати  $0^\circ \leq \varphi_1 \leq \theta$ , при  $\theta=70$

$$\frac{M_2}{qr_0^2} = \frac{1}{2} 0,3 \left[ k \left( \frac{1}{3} k + \sin 70 \right)^2 + \sin \theta (2 \sin 70 - \sin 70) \right] + \frac{1}{2} (1 - \cos 70)(1 + \cos 70 - 2 \cos 70) - (1 - \cos 90)(1 - \cos 70) + H_A^I (k + \sin 70) = -0,1$$

для координати,  $\theta \leq \varphi_2 \leq \frac{\pi}{2}$ .

$$\begin{aligned} \frac{M_1}{qr_0^2} &= \frac{1}{2} 0,3 \left[ k \left( \frac{1}{3} k + \sin 50 \right)^2 - (1 - \cos 60)(1 - \cos 50) + H_A^I (k + \sin 50) \right] \\ &= -0,05 \end{aligned}$$

для координати  $0^\circ \leq \varphi_1 \leq \theta$ , при  $\theta=60$



$$\frac{M_2}{qr_0^2} = \frac{1}{2} 0,3 \left[ k \left( \frac{1}{3} k + \sin 70 \right)^2 + \sin \theta (2 \sin 70 - \sin 90) \right] + \frac{1}{2} (1 - \cos 60) (1 + \cos 60 - 2 \cos 70) - (1 - \cos 60) (1 - \cos 70) + H_A^I (k + \sin 70) = -0,188$$

для координати,  $\theta \leq \varphi_2 \leq \frac{\pi}{2}$ .

Були визначені згинаючі моменти та динаміка їх зміни, в залежності від кута  $\theta$ . На основі отриманих даних було збудовано графік відносно кута розташування точки на верхній частині кріплення виробки  $\varphi_0$ .

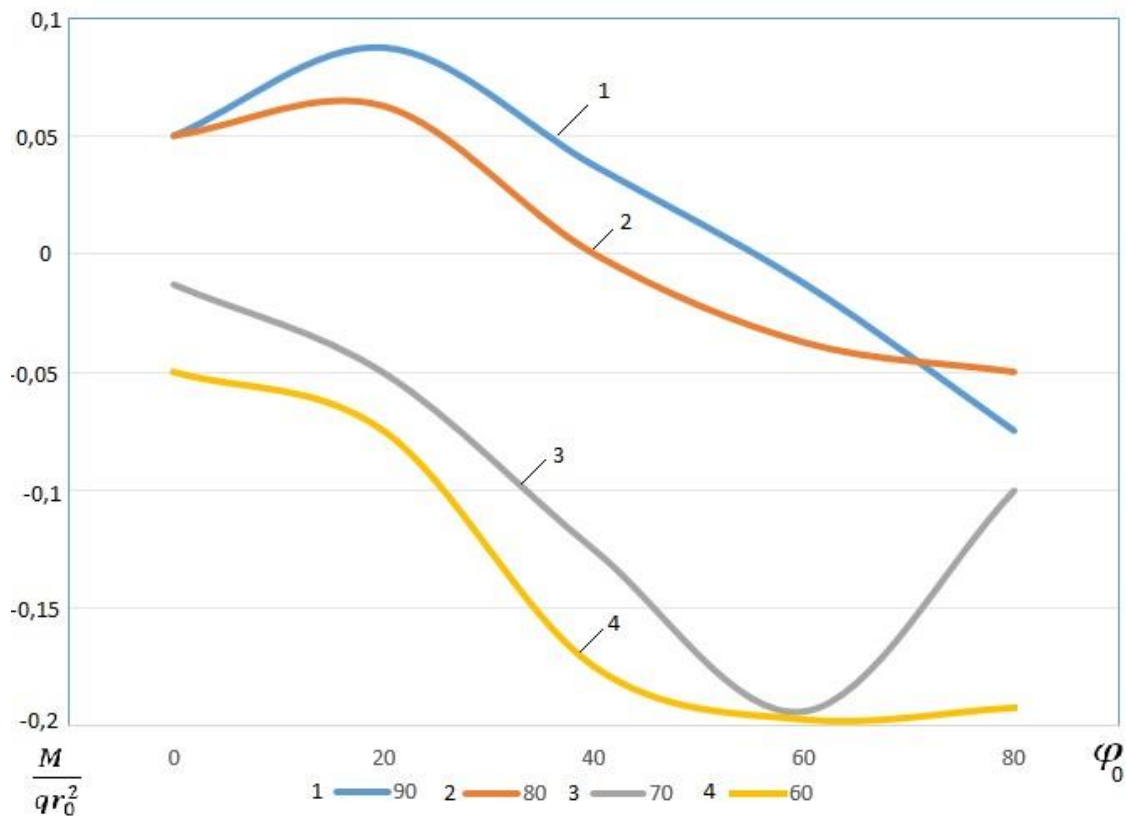


Рис. 3.3. Зміна згинаючого моменту в різних точках верхньої частини арочного кріплення виробки в залежності від кута контакту кріплення з масивом порід

Згідно з графіком можна визначити, що найбільше зміщення викликане згинаючими моментами з'являється при куті  $\theta=60-70^\circ$ . При цьому показники згинаючих моментів зростають в 2-2,5 рази більше, ніж при повній забутовці

закріпного простору. Пропорційно до цього показника йде зниження несучої здатності кріплення.

У випадку неповної забутовки, що приводить до кута  $\theta=50-60^\circ$ , максимальне значення згинаючого моменту буде близько розташоване до точок розташування замків податливості кріплення, що може призвести до її повного обвалення.

Одним з варіантів вирішення проблеми контакту кріплення з масивом порід є тампонаж закріпного простору. Цей спосіб підвищення стійкості виробок має одне з найбільших поширень у вугільних шахтах що розробляють пласти на глибині понад 1000м, як в Україні так і за кордоном.

Висновки:

1. При використанні металічного рамного кріплення у виробках неповний його контакт з масивом порід може призвести до зниження несучої здатності кріплення в 2-2.5 рази.

2. Розміри прольоту виробки значно впливають на статистичну ймовірність деформації її кріплення.

## ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз літературних джерел та існуючих досліджень за темою магістерської роботи.

2. Виконані аналітичні дослідження впливу проведення великопрольотних виробок на напружено-деформований стан масиву гірських порід, фактори що впливають на вибір кріплення при проектуванні виробки, розглянуто фактори впливу на несучу здатність кріплення.

3. Проведено розрахунки статистичної ймовірності деформації кріплення виробок. Виконано розрахунки впливу контакту кріплення з оточуючими породами на несучу здатність кріплення.

## Список використаних джерел

1. Технологии Synchro-mining на базе угольных шахт, подлежащих закрытию – Хозяйкина Н.В.// 2018
2. Солодянкин А.В. доц, Халимендик А.В. асп., НГУ, г. Днепропетровск, Украина Современное состояние и перспективы развития шахтного строительства и угольной промышленности Украины
3. Г.Г. Пивняк, А.Н. Шашенко, П.И. Пилов, М.С. Пашкевич Post – mining: технологический аспект решения проблемы //2012
4. Зеленов Ю.В., Бията Ю.И., Артамонов В.Н. Экономико – правовые, экологические и социальные проблемы закрытия шахт //2013
5. А.В. Быков Выбор и обоснование параметров усиливающих крепей капитальных горных выработок// 2003
6. Прогнозный каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений. - М.: ИГД им. Скопинского, 1982.
7. . Солодянкин А.В., Гапеев С.Н., Халимендик А.В. К вопросу обеспечения устойчивости капитальных выработок в условиях ожидаемых больших деформаций приконтурного массива пород // Сборник научных трудов НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ. – 2010
8. Иванчишин С.Я. Обоснование способов повышения несущей способности металлической арочной крепи выработок угольных шахт// Дисс. канд. техн. наук Днепропетровск - 1992
9. Григор'єв О.Є., Терещук Р.М., Шашенко О.О. Обґрунтування економічної ефективності використання рамно-анкерного кріплення підземних гірничих виробок // Форум гірників-2014: Матеріали міжнародної конференції 1-4 жовтня 2014 р. – Дніпропетровськ: РВК НГУ. – 2014.
10. . Солодянкин А.В., Машурка С.В., Дудка И.В. К вопросу об эффективности повторного использования выработок в сложных геомеханических

условиях // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва - 2015

11. В.В. Коробченко А.В. Солодянкин М.А. Выгодин А.З. Прокудин О. Повышении устойчивости капитальных горных выработок шахт Западного Донбасса

12. Б.А. Картозия, Б.И. Федунец, М.Н. Шуплик, Ю.Н. Малышев, В.И. Смирнов, В.Г. Лернер, Ю.П. Рахманинов, В.К. Фисейский, В.И. Резуненко, В.И. Курносков, А.Н. Панкратенко, Е.Ю. Куликова Шахтное и подземное строительство, том 2 // 2001

13. И.А. Мартыненко, И.И. Мартыненко, И.А. Капралова, К.В. Кулинич Параметры крепи большепролетных выработок// 2010

14. Ю.В. Бурков Совершенствование методики определения основных параметров инъекционного упрочнения породных массивов// 2006

15. В.В., Протодьяконов М.М. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород/ Справочное пособие под ред. Мельникова Н.В., Ржевского В.В., Протодьяконова М.М., Тедора Р.И. – М.: Недра, 1981

16. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкции крепей. – М.: Недра, 1984

17. Ходонович О. Ю. Обґрунтування параметрів кріплення вертикальних стволів глибоких вугільних шахт стволів глибоких вугільних шахт: автореф. Дис. На здобуття наук. Ступеня канд. Техн. Наук / Ходонович О. Ю. – Донецьк 1998

18. Глазунов Е.М., Белкин М.Н. Анализ геомеханических и математических моделей горного массива с программным обеспечением, апробированным 98 применительно к поэтапной проходке конкретных выработок. – М.: Орг-энергострой, НТЦ «Кварц», 1993

19. С.Г. Костюк, Г.А. Ситников, Н.Т. Бедарев моделирование горных процессов для обоснования параметров разработки безлюдной выемки угля с применением пневмобалонной крепи 2013

20. Шашенко А.Н. Парчевский Л.Я. Турчанин Г.И. Устойчивость капитальных выработок в условиях случайной неравномерной нагрузки 1983

21. Шашенко А.Н. Устойчивость позденых выработок в неоднородном породном массиве\ Дисс. Докт.техн.наук – Днепропетровск - 1988

22. Справочник по креплению горных выработок/ Голескул М.П., Хорин В.И., Киселев С.С., Бушуев Н.П. 1976