

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет «Гірничий»

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Розробка родовищ корисних копалин»

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____/Єфремов І.О./

“ ” _____ 2022 року

Випускна кваліфікаційна робота

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Вдосконалення технології рамно-анкерного піддатливого кріплення
спільного опору для підтримання підготовчих виробок у зоні інтенсивного
гірського тиску

Виконала: студент 2 курсу, групи РРКмз-20

напряму підготовки (спеціальності) 184 «Гірництво», спеціалізація «Розробка
родовищ та видобування корисних копалині»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Гнатюк В.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник зав. каф. РРКК, д.т.н., Єфремов І.О.

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

(підпис)

Рецензент

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

(підпис)

*Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.*

Студент Гнатюк В.В.

(підпис)

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет ГірничийКафедра Розробка родовищ корисних копалинОсвітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) магістрСпеціальність 184 «Гірництво»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____/Єфремов І.О./

“ ____ ” _____ 2022 року

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

Гнатюк Віталій Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення технології рамно-анкерного піддатливого кріплення спільного опору для підтримання підготовчих виробок у зоні інтенсивного гірського тиску

керівник роботи Єфремов Ігор Олексійович, д.т.н.

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

затверджені наказом № _____ від “ ____ ” _____ 2022 року

2. Строк подання студентом роботи 15 травня 2022 року3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: Аналіз існуючих конструкцій рамно-анкерного кріплення і ефективності їх роботи. Дослідження параметрів деформування рамно-анкерного кріплення, що спричиняє втрати стійкості рам і їх несучої здатності. Дослідження особливостей перерозподілу напружень і деформацій у рамно-анкерних кріпленнях при їх роздільному і спільному опорі гірничому тиску. Обґрунтування і розробка нової конструкції рамно-анкерного кріплення, що забезпечує стійкість рам і зберігає їх несучу здатність

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Викопіровка з плану гірничих робіт цілікової лави. Паспорт цілікової лави. Схема буріння дегазаційних свердловин цілікової лави. Прогноз горно-геологічних умов відпрацювання цілікової лави.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 27 вересня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ n/n	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	ХАРАКТЕРИСТИКА ШАХТИ І ШАХТНОГО ПОЛЯ	01.02.21	виконано
2	АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ДЕГАЗАЦІЇ	11.02.21	виконано
3	АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДЕГАЗАЦІЇ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ НА ШУ "ПОКРОВСЬКЕ"	25.03.21	виконано
4	ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНА І ГІРНИЧО-ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИЄМКОВОЇ ДІЛЬНИЦІ. РОЗРАХУНОК ОЧІКУВАНОГО ВИДІЛЕННЯ МЕТАНУ У МЕЖІ ВИЄМКОВОЇ ДІЛЬНИЦІ.	01.03.21	виконано
5	ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ У РАМНО-АНКЕРНИХ КРІПЛЕННЯХ ПРИ ЇХ РОЗДІЛЬНОМУ І СПІЛЬНОМУ ОПОРІ ГІРНИЧОМУ ТИСКУ	15.04.21	виконано
6	ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ РАМНО-АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ СТІЙКІСТЬ РАМ І ЗБЕРІГАЄ ЇХ НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ	29.04.21	виконано
7	ОХОРОНА ПРАЦІ	20.05.21	виконано
8	Оформленні роботи і підготовка до захисту		

Студент

_____ Гнатюк В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Єфремов І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гнатюк Віталій Валерійович. Вдосконалення технології рамно-анкерного піддатливого кріплення спільного опору для підтримання підготовчих виробок у зоні інтенсивного гірського тиску. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 184 «Гірництво» – ДНВЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2022..

Доведено, що з'єднання рам з анкерами створює додатковий ефект збільшення несучої спроможності комбінованого кріплення завдяки нейтралізації крутних моментів відносно поздовжньої осі спецпрофілю рами й зменшенню поперечних згинальних моментів, що підвищує стійкість вказаного кріплення в умовах інтенсивного гірського тиску.

Шахтні інструментальні дослідження показали, що підвищення опору замків піддатливості й збільшення розмірів перерізу виробок призводить до зростання частоти втрати стійкості рам внаслідок виникнення деформацій поздовжнього скручування спецпрофілю, за яким слідує пластичне скісне згинання профілю.

Збільшення несучої спроможності рам і анкерів спільного опору досягається внаслідок усунення можливості поздовжнього скручування профілю завдяки вибору відстані між точками з'єднання анкерів, яка менша за напівхвилю поздовжнього скручування.

Завдяки отриманим новим науковим результатам вдосконалено параметри технології рамно-анкерного кріплення спільного опору з шаховим розташуванням вузлів з'єднання анкерів з рамою уздовж її периметру, що дозволило підвищити несучу спроможність рами і зменшити зміщення порід покрівлі в 1,8 - 2,3 рази.

Ключові слова: *гірський тиск, підготовчі виробки, рамно-анкерне кріплення, спільний опір, поздовжнє скручування.*

ABSTRACT

Hnatyuk Vitaliy Valeriyovych. Improving the technology of frame-anchor fastening to ensure the stability of preparatory workings in the conditions of PJSC "Shakhtoupravlinnya "Pokrovske". Graduation qualification work for a master's degree in specialty 184 "Mining" - DNVZ "DonNTU", Luts'k, 2022.

The dissertation is accomplished research work, in which for the first time, an important effect of longitudinal twist of a yield support profile on its stability has been substantiated. This negative effect was intensified by diverging of the profile shelves following the twisting.

The length of a half-wave of the profile twisting for SVP33 does not depend on section of a roadway and its histogram complies with lognormal distribution. Mean of the half -wave equals to 2.7 m, what helped to find the reason for bearing capacity reduction of the frame support proportionally to increasing of a roadway section.

An optimal distance between adjacent joints of a frame support and rock bolts that should be less than the half-wave's length provides increase of the bearing capacity of the clutches and frame supports because possibility of the profile twisting diminishes.

Design of the combined frame – rock bolt support having cooperative resistance was improved due to opposite orientation of the clutches along the perimeter of the frame support. It reduces roof subsidence in the roadways by 1.8 - 2.3 times.

In addition, rate of longwall production was augmented up to 15% due to better maintenance of the head entry, what increased fresh air supply.

Key words: ground pressure, underground roadways, combined frame – rock bolt support, cooperative resistance, twist of the profile.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ РАМНО-АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ І ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ РОБОТИ.....	7
1.1. Аналіз роботи рамного кріплення у підготовчих виробках високонавантажених лав.....	7
1.2. Аналіз існуючих конструкцій рамно-анкерних кріплень спільного опору і досвіду їх експлуатації.....	10
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЕФОРМУВАННЯ РАМНО-АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ, ЩО СПРИЧИНЯЄ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ РАМ І ЇХ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ.....	39
2.1. Інструментальні спостереження за зрушенням на контурі підготовчих виробок в складних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах шахтоуправління Покровське.....	39
2.2. Інструментальні спостереження ефекту поздовжнього скручування профілю кріплення в зоні опорного тиску	52
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ У РАМНО-АНКЕРНИХ КРІПЛЕННЯХ ПРИ ЇХ РОЗДІЛЬНОМУ І СПІЛЬНОМУ ОПОРІ ГІРНИЧОМУ ТИСКУ	88
3.1. Обґрунтування методу досліджень.....	88
3.2. Моделювання процесу руйнування і зрушення порід навколо виробки, закріпленої рамним кріпленням	46
3.3. Моделювання роботи комбінованого кріплення роздільного опору...53	
РОЗДІЛ 4. ОБГРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ РАМНО-АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ СТІЙКІСТЬ РАМ І ЗБЕРІГАЄ ЇХ НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ	67
4.1. Загальні положення.....	67
4.2. Розробка конструкції рамно-анкерного кріплення спільного опору	68
4.3. Промислова перевірка розробленої конструкції рамно-анкерного кріплення спільного опору	71
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87

ВСТУП

Перехід до ринкової економіки підвищує вимоги до рентабельності і ефективності вугільної промисловості України, яка є основою енергетичної незалежності нашої держави. Підвищення ефективності роботи вугільних шахт насамперед може бути досягнуто за рахунок збільшення навантаження на очисні вибиї та зниження собівартості видобутого вугілля. Однак при цьому треба забезпечити необхідний рівень безпеки гірничих робіт завдяки подачі більшої кількості повітря для розбавлення метано-виділення у високонавантажених лавах. Це можливо лише за рахунок збільшення поперечного перерізу підготовчих виробок і забезпечення їх стійкості в зоні інтенсивного гірничого тиску.

Одним з ефективних напрямків забезпечення стійкості підготовчих виробок на значних глибинах є вдосконалення їх кріплення. Однак традиційні конструкції рамних кріплень вичерпали свої можливості. У зв'язку з цим останнім часом знаходять широке застосування рамно-анкерні кріплення. Проте досвід їх експлуатації свідчить про недостатнє використання можливості зазначених конструкцій кріплень. Наразі найбільш поширені конструкції комбінованих кріплень, в яких рами й анкери не з'єднані між собою, реалізуючи роздільний опір гірському тиску. Звідси випливає актуальність обраної теми досліджень.

Мета і завдання дослідження полягає у підвищенні стійкості та несучої здатності рамно-анкерного кріплення за рахунок максимізації спільного (комбінованого) опору рам і анкерів. Виходячи з цього **завдання дослідження** полягали у наступному:

1. Дослідити параметри деформування рамно-анкерних кріплень, які призводять до обмеження піддатливості і втрати стійкості рам та їх несучої здатності у зонах інтенсивного прояву гірського тиску.
2. Визначити особливості перерозподілу напружень і деформацій у рамно-анкерних кріпленнях у просторі і часі за їх роздільного й спільного опору гірському тиску.

3. Вдосконалити технологію рамно-анкерного кріплення, яка забезпечує стійкість рам і зберігає їх несучу спроможність за рахунок нейтралізації негативного ефекту поздовжнього скручування.

Ідея роботи заснована на застосуванні синергетичного ефекту зниження поздовжніх крутильних і поперечних згинальних моментів в рамах, який виникає під час взаємодії анкерів з піддатливою рамою при їх механічному з'єднанні і протилежній орієнтації суміжних вузлів з'єднання рами з анкерами уздовж її периметру.

Об'єктом дослідження є процес пластичного деформування рамного піддатливого кріплення в підготовчих виробках при залученні збиткових степенів вільності які породжують тривимірність процесу деформування.

Предметом досліджень є рамно-анкерне кріплення спільного опору в процесі його експлуатації в зоні інтенсивного прояву гірського тиску.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ РАМНО-АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ І ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ РОБОТИ

1.1. Аналіз роботи рамного кріплення у підготовчих виробках високонавантажених лав

Розвиток вугільної промисловості України не має альтернативи, оскільки вітчизняні запаси кам'яного вугілля забезпечують її енергетичні ресурси на кілька століть вперед. В умовах ринкової економіки стійке зростання видобутку вугілля нерозривно пов'язане з необхідністю постійного підвищення ефективності діючих шахт. Це може бути досягнуто за рахунок збільшення навантаження на очисні вибої та зниження собівартості видобутого вугілля. Однак при цьому слід забезпечити необхідний рівень безпеки гірничих робіт за рахунок подачі більшої кількості повітря для провітрювання високонавантажених лав. Це можливо лише за рахунок збільшення поперечного перерізу підготовчих виробок і забезпечення їх стійкості в зоні динамічного опорного тиску діючих лав і активних зрушень позаду них.

Впродовж останнього десятиріччя на вугільних шахтах України середнє навантаження на очисні вибої зросло в 1,3-1,5 рази, а добовий видобуток в 2-3 тис. тон з однієї лави при відпрацюванні пласта потужністю 1,3-1,5м на високопродуктивних шахтах став нормою. При такому навантаженні суттєво зросли вимоги до вентиляції і дегазації виїмкових діляниць. Останнім часом апробований ряд способів дегазації вугільних пластів і вміщуючих газonosних порід. Найбільш часто застосовують дегазацію товщі позаду діючої лави, оскільки при цьому вдається каптувати максимальну частку газу. Так дебіт свердловин позаду діючої лави збільшується у кілька разів порівняно з видобутком газу в незайманому масиві або у зоні опорного тиску.

Однак буріння свердловин з земної поверхні при відпрацюванні пластів

на глибинах понад 600-700м стає економічно нерентабельним, у зв'язку з чим основну частину газу вловлюють за допомогою підземних свердловин. Для реалізації такої технології уловлювання газу необхідно підтримувати підготовчі виробки позаду діючої лави в зоні активних зрушень, що представляє собою окрему складну і до сих пір невирішену задачу.

У зоні активних зрушень відбувається інтенсивна деформація контуру виїмкових виробок, швидкість якої сягає 70мм/добу і більше, причому саме позаду діючої лави втрачається 60-80% початкового перетину підготовчої виробки. Незважаючи на такі жорсткі умови експлуатації виробок, виробничники масово переходять на комбіновані системи розробки із застосуванням прямоточних схем провітрювання.

Навіть на вугільних шахтах США і Австралії, де традиційно використовували стовпові системи розробки з відпрацюванням лав зворотним ходом стали останнім часом застосовувати прямоточні схеми провітрювання, що дає можливість збільшувати навантаження на очисні вибої. Однак середня глибина американських і австралійських шахт поки залишається на рівні 150-250м, що істотно знижує вимоги до кріплення підготовчих виробок. Саме тому поки зазначені вуглевидобувні країни використовують в основному чисто анкерне кріплення підготовчих виробок.

Така активізація приводить до руйнування стаціонарних кріплень і подальшої втрати стійкості виробок. У результаті виникає перманентна необхідність відновлення перерізу підготовчих виробок, що істотно знижує надійність вентиляції, транспорту і погіршує безпеку гірничих робіт, оскільки виробки мають незадовільний стан на більшій своїй протяжності.

Раніше у вугільних об'єднаннях здійснювався постійний облік стану підготовчих виробок. Звітні дані свідчили про неухильне збільшення протяжності виробок, що мають незадовільний стан. У даний час ця тенденція тільки посилилася, що є природним наслідком збільшення глибини розробки і підвищення інтенсивності очисних робіт. Так на шахтах Донбасу фактична частка виробок із незадовільним станом поперечного перерізу становить

більше половини від загальної їх протяжності, а в зоні активних гірничих робіт, які, як правило, ведуться на глибинах 800-1000м і більше у незадовільному стані знаходяться 60-70% виробок.

На сьогоднішній день обґрунтовано кілька принципових напрямків забезпечення стійкості підготовчих виробок в умовах інтенсивного прояву гірського тиску. Для виробок основного напрямку вибрані параметри регіональної зони розвантаження, однак у більшості випадків проблему стійкості, як основних так і дільничних, а також виїмкових виробок вирішують традиційними технологіями і, перш за все, вдосконаленням кріплень і підвищенням їх несучої здатності.

Однак на сьогодні умови суттєво погіршилися, за яких традиційні конструкції рамних кріплень повністю вичерпали свої можливості і резерви, а чисто анкерне кріплення не здатне забезпечити стійкість підготовчих виробок на великих глибинах. Саме тому ряд вугледобувних країн перейшли на і рамно-анкерні кріплення, які отримали широку популярність для забезпечення стійкості підготовчих виробок глибоких вугільних шахт.

Такі закономірності на сьогодні не враховують особливості руйнування рамного кріплення за межею міцності, коли його компоненти, і в першу чергу, рамні профілі, зазнають значних пластичних деформацій. Це вимагає проведення комплексних натурних інструментальних спостережень за зрушеннями вміщуючих порід і спільною деформацією анкерів і рамного кріплення, а також дослідження напружено-деформованого стану рам і анкерів на математичних моделях.

Збільшення популярності рамно-анкерних кріплень пояснюється значним резервом, який закладений в зазначеному вигляді кріплення [16]. Вважається, що рами і анкери взаємодіють один з одним, допомагаючи проявити кращі якості обох видів кріплення. Разом з тим механізм такої взаємодії майже не вивчений, а фактичний стан підготовчих виробок, з рамно-анкерним кріпленням часто є незадовільним.

1.2. Аналіз існуючих конструкцій рамно-анкерних кріплень спільного опору і досвіду їх експлуатації

Комбіновані кріплення, в яких рами й анкери з'єднані між собою, відомі давно [17, с.66]. У цитованій інструкції застосовують найпростіший варіант комбінування верхняка і анкерів. При цьому комбіноване кріплення типу АД-1 складається з прямолінійного або криволінійного верхняка, в якому виконані отвори, куди вставлені анкери. Кріплення АД-1 спроектоване як анкерне з довгими прямолінійними або криволінійними подхватами, однак по суті воно містить усі основні ознаки комбінованого.

Кріплення АД-1 збирається наступним чином. Спочатку встановлюють верхняк, притискаючи його до порід покрівлі виробки за допомогою маніпулятора або тимчасового стійкового кріплення. Потім через отвори у верхняках бурять шпури довжиною 1500-2000мм і в них встановлюють анкери з клиновими замками. Несуча здатність анкерів складає близько 80-100кН, а верхняка 100-150кН. При трьох анкерах, пов'язаних з верхняками забезпечується сумарна несуча здатність комбінованого кріплення близько 450кН, що більше ніж середня несуча здатність однієї рами, яка знаходиться в межах 200-300кН.

Позитивною характеристикою даного кріплення є його простота конструкції і складання. Автори інструкції не описують механізм взаємодії верхняка і анкерів, що не дозволяє усвідомити причини, які будуть спонукати виробничників до використання саме такого кріплення. Відсутність натурних спостережень за поведінкою наведеного кріплення не дає можливості дати його вичерпну оцінку. Однак очевидні наступні недоліки комбінованого кріплення. Область застосування посиленого кріплення обмежена міцними бічними породами і ґрунтом виробок, а також досить стійкою покрівлею.

При застосуванні у виїмкових виробках кріплення АД-1 спрощуються операції на сполученні лави з виїмковою виробкою, так як стійки кріплення відсутні. Однак в складних гірничо-геологічних умовах таке кріплення буде

неефективне. Відсутність стояків призведе до віджиму вугільного пласта і інтенсивних зсувів порід покрівлі виробки. Для того, щоб запобігти такому небажаному ефектові, необхідно додати в комплект стояки, в результаті чого утворюється типове рамно-анкерне кріплення. Однак в такому випадку виникають проблеми. Якщо вузол з'єднання стояків з верхняками буде виконаний жорстким, кріплення швидко втратить стійкість при інтенсивному деформуванні вміщуючих порід. Втрата стійкості рамного кріплення автоматично тягне за собою втрату її несучої здатності.

Якщо стик між стояками і рамою виконати піддатливим, рама не зможе піддаватись, оскільки торець стояку після проковзування на 50мм упреться у хвостовик анкера, на який нагвинчена гайка. Іншими словами така податливість рами дуже обмежена і рама після зсування на 50мм буде працювати як жорстка конструкція, що, так чи інакше призведе до її руйнування.

Кожен тип комбінованого кріплення має свої переваги і недоліки, і одночасно застосовується на практиці. Популярність комбінованих кріплень роздільного опору пояснюється зручністю їх незалежної збірки і установки. Отримали широкий розвиток комбіновані кріплення спільного опору, в яких найчастіше використовують зв'язок анкерів з верхняком, який утримується в стійкому стані при знятті стійки навпроти вікна діючої лави. Далі аналізуються об'єднані кріплення обох типів.

Відома конструкція рамно-анкерного кріплення, яка використовує жорстке з'єднання рам з анкерами **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**. Конструкція складається з анкерів, які встановлені в шпурах, а також з окремих сегментів арочної або прямолінійної форми, які з'єднані з анкерами притискними пристроями у вигляді втулок, скоб і клинів. Сегменти з'єднані між собою внахлестку податливими замками, які складаються зі скоб, планок та гайок.

Збірка комбінованого кріплення здійснюється наступним чином. Спочатку бурять шпури в породи покрівлі виробки і встановлюють у цих

шпурах анкери, які закріплюють механічним або фізико-хімічним способом.

Після цього сполучають арочні і прямолінійні сегменти замками податливості. Вважається, що анкери з рамою будуть працювати спільно, що підвищує ефективність заявленої конструкції. Проте на даний момент не відомий досвід застосування або хоча б випробування такого комбінованого кріплення. Причина полягає в непрацездатності даної конструкції. Справа в тому, що пробурені шпури повинні бути строго уздовж лінії рами, яка згодом буде вкладена в притискні конструкції. На практиці це виконати практично неможливо. Контур виробки нерівний, буровий прилад в процесі буріння і перезаряджання бурових штанг зміщується. Ці фактори не дають можливості орієнтувати шпури з високою точністю, яка потрібна для того, щоб вставити раму у підхоплення, прикріплені на хвостовики анкерів.

При спробі збірки рами окремі сегменти будуть перекошені і зміщені одна відносно іншої. Це не дозволить одягнути замки податливості або затягнути їх належним чином. Другим недоліком є висока металоємність притискних пристроїв, особливо його клину. Однак принциповим недоліком є висока трудомісткість складання пристрою, що робить його фактично непрацездатним.

Комбіноване кріплення збирається наступним чином. Спочатку бурять шпури. Потім розмічають положення рами і встановлюють її сегменти, поєднуючи їх між собою замками податливості. Після цього опорні пластини з'єднують з сегментами рами скобами, планками і гайками. Потім вставляють анкери через отвори в опорних пластинах в заздалегідь пробурені шпури.

При цьому необхідно задовольнити кілька вимог. По-перше вісь кожного шпуру повинна збігатися з віссю отвору в відповідних опорних пластинах і осями різьбових отворів на горизонтальних ділянках скоб. Відповідно до опису винаходу в обидва кінці опорної пластини вставляється пара анкерів.

Третій недолік пов'язаний з тим, що анкер можна угвинчувати в отвір опорної пластини тільки до моменту його закріплення у шпурі. Це означає, що

після вгвинчування анкер буде складно закріпити.

У підсумку конструкції рамно-анкерних кріплень згідно патентів 622982 і 1657646 є непрацеспроможними, оскільки не гарантують належного взаємного розташування анкерів і рам. З-за цього рамно-анкерне кріплення зібрати неможливо. Саме з причини непрацездатності конструкції не знайшли промислового застосування. Разом з тим, неодноразові спроби розробки конструкції комбінованого кріплення спільного опору свідчать про підвищений інтерес практиків до ідеї спільного опору анкерів і рамних кріплень.

Такі рамно-анкерні кріплення знайшли широке застосування в практиці роботи вугільних шахт України. Головною їх перевагою є можливість зняття стояків навпроти вікна лави. Це дає можливість проводити технологічні операції в лаві на спряженні лави з виїмковою виробкою. Поки стояк відсутній, вся рама утримується за допомогою пари анкерів, які підхоплюють верхняк з боку діючої лави. Після проходу лави стійку встановлюють на колишнє місце і відновлюють замок податливості.

Досвід експлуатації таких комбінованих кріплень показав наступне. У процесі буріння шпурів під анкери, необхідно дотримувати між ними відстань так, щоб після установки спарених анкерів їх хвостовики були розташовані так, щоб точно відповідати інтервалу між отворами в опорній планці. У більшості випадків таку умову виконати неможливо через низку причин. Віб्राція бурового верстату, нерівності породного оголення, захаращення підшви виробки і неминуча різниця в глибині шпурів негативно впливають на точність буріння шпурів. Тому робітники змушені підбивати хвостовики анкерів кувалдою і використовувати лом у вигляді важеля при одяганні опорної планки.

Другим недоліком є те, що так звані подхватні анкери використовуються не на повну довжину, при закріпленні в масиві гірських порід. Причина полягає в тому, що планка одягається на анкери після їх установки з боку порожнини виробки (інакше неможливо). Це означає, що

анкери виступають з породного оголення принаймні на довжину рівну товщині профілю кріплення. Реально анкери виступають з породи на величину 30-50см. Такий запас робочі створюють для того, щоб полегшити одягання опорної планки на обидва анкера відразу. Якщо хвостовики анкерів виступають в порожнину виробки більше, ніж на товщину профілю, полегшуються операції з підгинання хвостовиків при одяганні опорної планки.

У разі, коли анкери посажені в шпури повністю, можливості одягнути на них опорну планку дуже обмежені, що змушує перебудовувати шпури і заново встановлювати спарені анкери. У зв'язку з цим або необхідно використовувати більш довгі анкери, щоб компенсувати довжину інкапсуляції, або анкери стандартної довжини матимуть меншу несучу здатність, що і підтверджується на практиці.

Практика показала, що через зазначений недолік після проходу лави спостерігається масове виштовхування анкерів з масиву. При початковій висоті виступ анкерів з масиву 30-40см після проходу лави анкери виштовхуються на висоту 50-60см і більше. Механізм такого негативного ефекту полягає в особливості динаміки розшарування і подальшого закриття тріщин в зоні активних зрушень, а першопричина - в неповній інкапсуляції анкерів.

Характерно, що більшість фахівців схиляється до того, що комбіновані кріплення спільного опору є більш ефективними, ніж рамно-анкерні кріплення роздільного опору. Однак з одного боку не існує поки об'єктивних доказів зазначеної переваги, хоча воно має логічні основи. З іншого боку практика показала, що на сьогодні не розроблені ефективні конструкції рамно-анкерних кріплень спільного опору. Це підтверджується практикою промислової перевірки описаної конструкції. Однак в розділі промислової перевірки використовується інша конструкція комбінованого кріплення. Вона передбачає з'єднання анкера з рамою через отвір в рамі, який виконується автогеном або просвердлюється, а також застосовується відома [20], але недостатньо ефективна конструкція спарених підхватних анкерів (див. Рис. 5.1

B [21]).

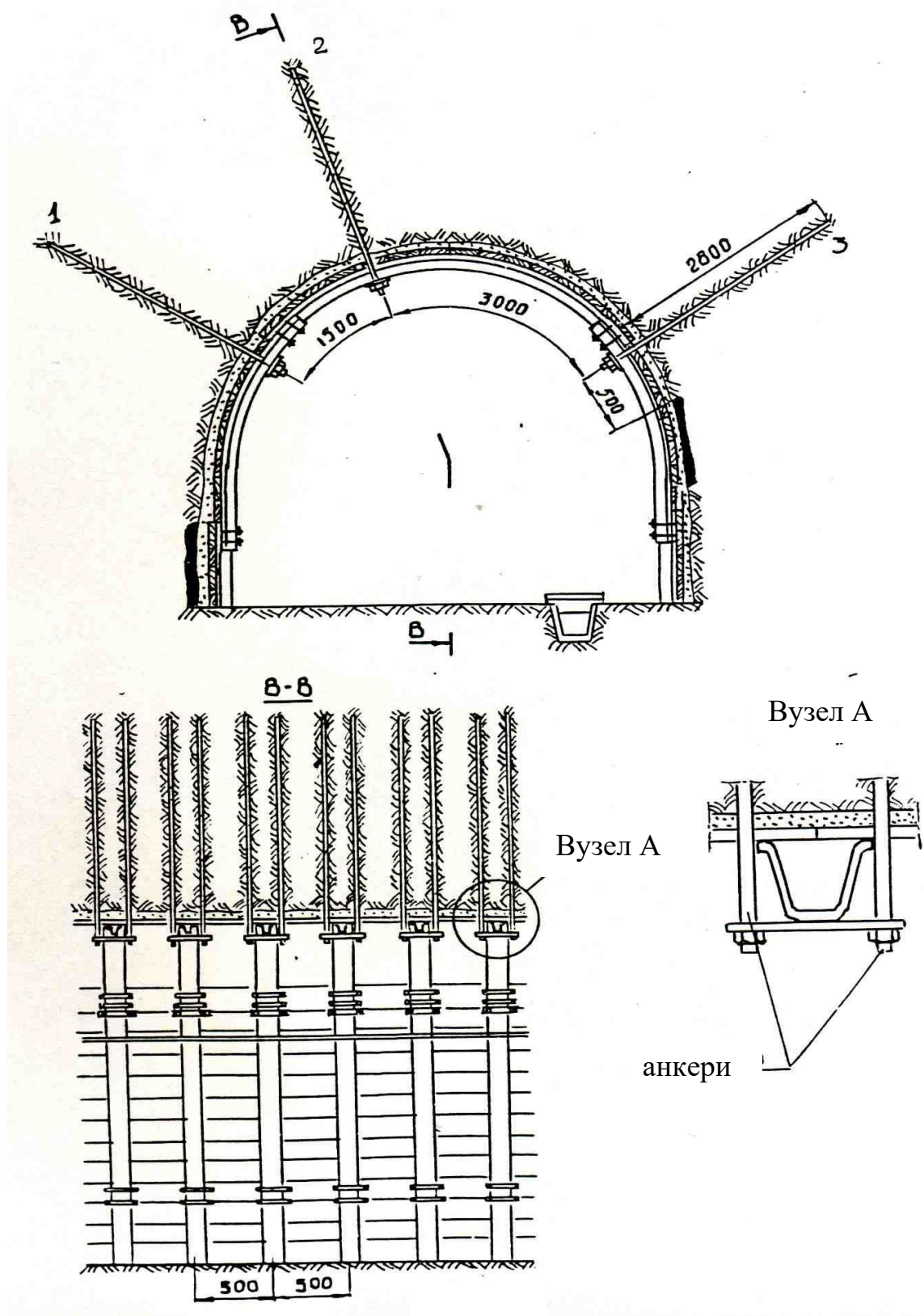


Рисунок 1.1. - Схема кріплення підготовчої виробки рамно-анкерним кріпленням спільного опору з використанням подхватних анкерів [13]

Навіть встановлення жорстких анкерів через отвори, зроблені в рамному профілі підвищує несучу здатність комбінованого кріплення порівняно з роботою чисто рамного кріплення [21,22]. У роботі [21] наводяться результати вимірювання конвергенції на контурі виймальної виробки, які підтверджують позитивний ефект комбінування рам і анкерів. Підкреслимо, що в даному випадку була випробувана комбіноване кріплення спільного опору.

Вищенаведене свідчить про перспективність застосування рамно-анкерного кріплення і необхідності проведення додаткових досліджень напружено-деформованого стану системи «вміщуючі породи - виробка- рама - анкери». При цьому для поглиблення знань про складний механізм взаємодії необхідні як натурні дослідження, так і математичне моделювання. У шахтних умовах простіше і надійніше досліджувати закономірності зрушень порід і деформації рам, а математичні моделі дають можливість вивчити розподіл згинальних моментів і поперечних сил у спецпрофілі рамних кріплень, а також натягіння в анкерах.

Незважаючи на широке застосування рамно-анкерних кріплень на вугільних шахтах Німеччини, досвід інструментальних спостережень за поведінкою рам і анкерів, а також характером взаємодії цих кріплень з оточуючими породами дуже незначний.

В останніх виданнях німецьких публікацій можна часто знайти інформацію про промислове використання рамно-анкерних кріплень. Так Ю.Баймдік [23] описує тришарову систему кріплення типу системи Іббернбюрен. Перший шар представлений сталеполімерними анкерами, які встановлюють безпосередньо в прохідницькому вибої. Другий шар складається з сталевих рам ТН-профілю. Їх встановлюють на відстані 40-50м позаду підготовчого вибою. Нарешті третій шар споруджується у вигляді гідромеханічного заповнення закріпного простору будівельною сумішшю (33% цементу і 67% золоуносу) на відстані 70м. Міцність на стиск заповнювача 33Н/мм².

Характерно, що до необхідності застосування тампонажу закріпного

простору німецькі фахівці прийшли на підставі комп'ютерного моделювання, в процесі якого використовували математичні моделі нелінійного деформування порід, анкерів і кріплення [24,25]. На жаль напружено-деформований стан системи «масив - анкери - рами - тампонажний камінь» аналізувалося в стані плоскої деформації. Це значною мірою знижує механізм перерозподілу напружень і деформацій навколо рамно-анкерних кріплень. Складається враження, що такі припущення, прийняті під час моделювання, призводять до завищення можливості рамного і анкерного кріплення з одного боку і до перевитрати тампонажного розчину з іншого. Обсяги подачі тампонажного розчину при повному заповненні закріпного простору дуже значні, що вимагає не тільки великих поточних витрат на сам розчин, а й значних капітальних витрат на спорудження та експлуатацію напірного трубопровідного транспорту для доставки розчину в підготовчий забій.

Очевидно, що виконання спеціальних натурних інструментальних спостережень процесу взаємодії анкерів і рам могло б дати більш точні відомості про цей складний процес. Зрушення порід і подальша деформація анкерних і рамних кріплень відбувається приблизно у такій послідовності. Спочатку розшаровуються породи покрівлі і натягуються анкери, які чинять опір цьому розшаруванню. Треба думати, що при спільному і роздільному опорі анкери будуть по-різному реагувати на такі розшарування. У міру переміщення порід у порожнину виробки рами починають деформуватися, в результаті чого в них виникають згинальні моменти і поперечні сили.

Досвід обстеження виробок, які закріплені рамно-анкерним кріпленням свідчить про те, що крім згинальних деформацій рами можуть масово відчувати поздовжнє скручування профілю. Проте раніше такий ефект ніким не описувався і не аналізувався. Очевидно, що важливу роль грає величина згинальних і крутних моментів, крок зміни знаку моментів або довжина їх півхвиль. Вимірювання таких параметрів дозволило б істотно уточнити механізм взаємодії анкерів і рам, що дасть можливість оцінити якісно і кількісно різницю між комбінованими кріпленням спільного і роздільного

опору. Проте вказані параметри досі не досліджувалися ні в натурних умовах, ні на математичних моделях.

Звідси випливає, що для вивчення особливостей механізму взаємодії рам і анкерів важливу роль можуть виконати такі методи досліджень, як вимірювання процесу розшарування порід покрівлі за допомогою глибинних реперів, моніторингу зсувів порід у порожнину виробки за допомогою контурних реперів, а також параметрів згинальних і крутильних деформацій профілю рамних кріплень.

Однак навіть останні публікації німецьких фахівців [26] орієнтовані на суто практичне використання комбінованих кріплень, і, зокрема таких конструкцій комбінованих кріплень спільного опору, які застосовують підхватні анкери, описані вище. На знімках, наведених у статті [26] очевидна перевитрата анкерів, оскільки їх встановлюють парами в безпосередній близькості один до одного, причому анкери на 20% своєї довжини не використовуються, оскільки виступають з масиву гірських порід за межі внутрішньої полиці спецпрофілю (так само як на рис. 1.1). Це явно вказує на значні невикористані резерви, закладені в ідеї комбінації анкерів і рамних кріплень. Однак відсутність знань про складний механізм взаємодії анкерів і рам заважає ефективному використанню зазначених резервів.

На шахті Червоноармійська-Західна №1 комбінація рамних і анкерних кріплень вперше застосована при потужності вугільного пласта понад 1,5м і високих швидкостях посування лави [27,**Помилка! Джерело посилання не знайдено.**]. Головною причиною використання рамно-анкерних кріплень на даній шахті є те, що в покрівлі пласта залягає міцний пісковик. Ця обставина створює сприятливі умови для закріплення анкерів і подальшого ефективного опору силам гірського тиску. Проте не можна погодитися з таким трактуванням, оскільки на ряді шахт (наприклад на шахті ім. Засядька) застосовують такі кріплення при слабких покрівлях. Як показує практика, ефективність рамно-анкерного кріплення проявляється при будь-яких покрівлях і на будь-якій глибині розробки. Більш того, нормативним

документом [Помилка! Джерело посилання не знайдено.] рекомендується при проведенні виробок в слабких тріщинуватих породах додатково до стаціонарного рамного кріплення використовувати анкери (п.4.26, с.63 Керівництва [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]).

Останнім часом рамно-анкерні кріплення знаходять широке використання на вугільних шахтах ВАТ «Павлоградвугілля», що відпрацьовують пласти в дуже слабких породах [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Застосування рамно-анкерного кріплення замість рамного зменшує вартість проходки 1м на 300 грн. і істотно знижує витрати на відновлення перетину виробок, які експлуатуються в складних гірничо-геологічних умовах. Як непрямий ефект підвищується навантаження на очисні вибої завдяки можливості безремонтної підтримки підготовчих виробок.



Рисунок 1.2. - Важкий каркасний тип рамно-анкерного кріплення, якій застосовувався на японських вугільних шахтах [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]

Можна припустити, що косому вигину сприяє поздовжнє скручування профілю рамних кріплень, однак цю гіпотезу слід перевірити в шахтних умовах за допомогою інструментальних спостережень і пояснити на основі

тривимірного математичного моделювання процесу взаємодії рам і анкерів. Лише у такому випадку з'являється можливість вдосконалення конструкції рамно-анкерних кріплень і використання резервів, закладених в ідеї комбінування.

Втрата несучої здатності відбувається одночасно з поздовжнім скручуванням профілю як при використанні комбінованих, так і простих рамних кріплень. Негативна роль поздовжнього скручування очевидна, але її ніхто не вивчав. Практики інтуїтивно розуміють негативний ефект поздовжнього скручування профілю і намагаються піти від нього дорогими засобами, шляхом установки безлічі міжрамних стяжок. Однак, якщо профіль стяжок слабкий, а самі стяжки встановлюються рідко, їх ефект мінімальний (розрив стяжок, масовий поворот рам при неякісному розклинюванні або при інтенсивному прояві зрушень). Тому японці застосовують важкі стяжки з високою щільністю установки. Вчені ДонНТУ пропонують використовувати балку, однак вона не запобігає від скручування стояків, а лише сприяє перерозподілу зусиль на більшу кількість рам **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**. Німецькі фахівці застосовують повний тампонаж закріпного простору, однак це дуже дорого [2].

Російські вчені останнім часом стали приділяти скручуванню профілю металевих кріплень посилену увагу **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**. Автори цитованої публікації аналізують три моменти опору перерізу профілю рамного кріплення: два поперечних уздовж нейтральних осей, паралельних осі виробки, перпендикулярно осі виробки і момент опору скручуванню. Аналітичні порівняння напружень, які розвиваються у профілі рамного кріплення показали недооцінку поздовжнього моменту скручування профілю та необхідність збільшення моменту опору скручуванню. Для цього спроектований новий профіль СВПУ, який має більш видовжений переріз вздовж нейтральної осі, що перпендикулярна осі виробки. Така модифікація

перерізу дала можливість підвищити момент опору поздовжньому скручуванню в 1,3-1,5 рази. Проте досвід експлуатації рамних кріплень показує, що діючі моменти в рамному кріпленні все одно у кілька разів перевищують досягнутий момент опору. Саме тому автори публікації **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]** визнають, що втрата стійкості рами від поздовжнього скручування залишилася, однак вона відбувається рідше, ніж у рам, виготовлених з традиційно застосовуваного профілю СВП. Це означає, що забезпечити необхідну стійкість рамного кріплення тільки за рахунок оптимізації профілю неможливо. Можливо більші резерви підвищення стійкості рамного кріплення криються у принципі комбінування спільного опору рам і анкерів.

Виходячи з ідеї комбінованого кріплення рамно-анкерна конструкція спільного опору повинна працювати краще, ніж роздільного опору. Однак через непрацездатність більшості відомих комбінованих конструкцій рамно-анкерного кріплення спільного опору велику протяжність виробок продовжують кріпити рамно-анкерними кріпленнями роздільного опору. Ефективність комбінування анкерів і рам при цьому використовується не повністю із-за того, що анкери і рами працюють роздільно і певною мірою незалежно. З-за цього рами відчують поздовжнє скручування профілю, що може бути причиною передчасної втрати їх несучої здатності.

Підхватні анкери неефективні. В силу того, що більшість запатентованих конструкцій комбінованих кріплень не працездатні, не вдалося перевірити, як впливає ефект спільного опору на стійкість рамного кріплення і зокрема на її схильність до поздовжнього скручування профілю.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЕФОРМУВАННЯ РАМНО-АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ, ЩО СПРИЧИНЯЄ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ РАМ І ЇХ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ

2.1. Інструментальні спостереження за зрушенням на контурі підготовчих виробок в складних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах шахтоуправління «Покровське»

На шахтах Донбасу пологі пласти середньої потужності зазвичай розробляються стовповими системами із застосуванням в лавах оборотної схеми провітрювання. Такі системи розробки не дозволяють досягти високих навантажень на лаву через обмеження по газовому фактору. У зв'язку з цим останнім часом високонавантажені лави працюють, як правило, по комбінованій системі розробки [Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

При цьому вихідний струмінь повітря з лави відводиться прямим порядком по виїмковій виробці, яка підтримується позаду лави. Однак для реалізації такої схеми провітрювання необхідно підтримувати виїмкові виробки позаду діючої лави в зоні активних зрушень.

Проблема підтримки та збереження виробок позаду очисного вибою актуальна не тільки для забезпечення прямоточного провітрювання, а й з позицій їх повторного використання. Це диктується сучасними ринковими умовами, які створюють економічну необхідність повторного використання виїмкових виробок. При цьому зміщення покрівлі і ґрунту в них досягають 1,5-2,0м і навіть більше, а стійкість сполучення лав з цими виробками часто є незадовільною. У зв'язку з цим в ш/у «Покровське» проводяться дослідно-експериментальні випробування нових технологій кріплення, підтримання і способів охорони виїмкових виробок, що включають комбінування рамних і

анкерних кріплень, створення штучних опор, використання буфлексів для заповнення закріпного простору.

На сьогоднішній день накопичено великий позитивний досвід підтримання виїмкових виробок у зоні динамічного опорного тиску і активних зрушень за допомогою рамно-анкерних кріплень і литої смуги з БІ-кріплення [7]. Саме таке поєднання засобів кріплення та підтримки дало можливість зберегти 30-40% проектного перерізу виробки позаду діючої лави, що дозволило забезпечити прямоточну схему провітрювання і відповідно проектне навантаження на очисний вибій в межах 3-4 тис. тон на добу.

Разом з тим збільшення глибини розробки і негативний вплив малоамплітудних порушень ускладнює умови підтримання виїмкових виробок, що вимагає постійного вдосконалення систем кріплення та способів охорони виробок. Зокрема одним із резервів забезпечення стійкості підготовчої виробки в зоні інтенсивного прояву гірського тиску є підвищення несучої здатності стаціонарного рамного кріплення. Традиційно для досягнення зазначеної мети застосовують важкий профіль кріплення, а також збільшують щільність установки рам аж до 2 рам на погонний метр. Разом з тим застосування замків підвищеної несучої здатності є ще одним невикористаним резервом, який може зменшити деформації перерізу виробки і таким чином забезпечити можливість підтримання високого навантаження на лаву за рахунок ефективного прямоточного провітрювання.

Випробування замків підвищеної несучої здатності здійснювалося у виїмкових виробках 5-ї північної лави пласта d4 блоку №2 ш/у Покровське (рис. 2.1). Потужність пласта становила 1,8-1,95м. Лава відпрацьовувалась по простяганню зворотним ходом, з підтриманням виробки позаду очисного вибою для повторного використання. Саме дві останні обставини зумовили вибір експериментальної ділянки.

За такої потужності, що відпрацьовується, позаду лави відбувається інтенсивна конвергенція вміщуючих порід, що створює складні проблеми при підтримці виробки позаду діючої лави. Зокрема, величини зміщень порід покрівлі і ґрунту досягають метра і більше, що посилює вимоги до податливості рамної кріплення.

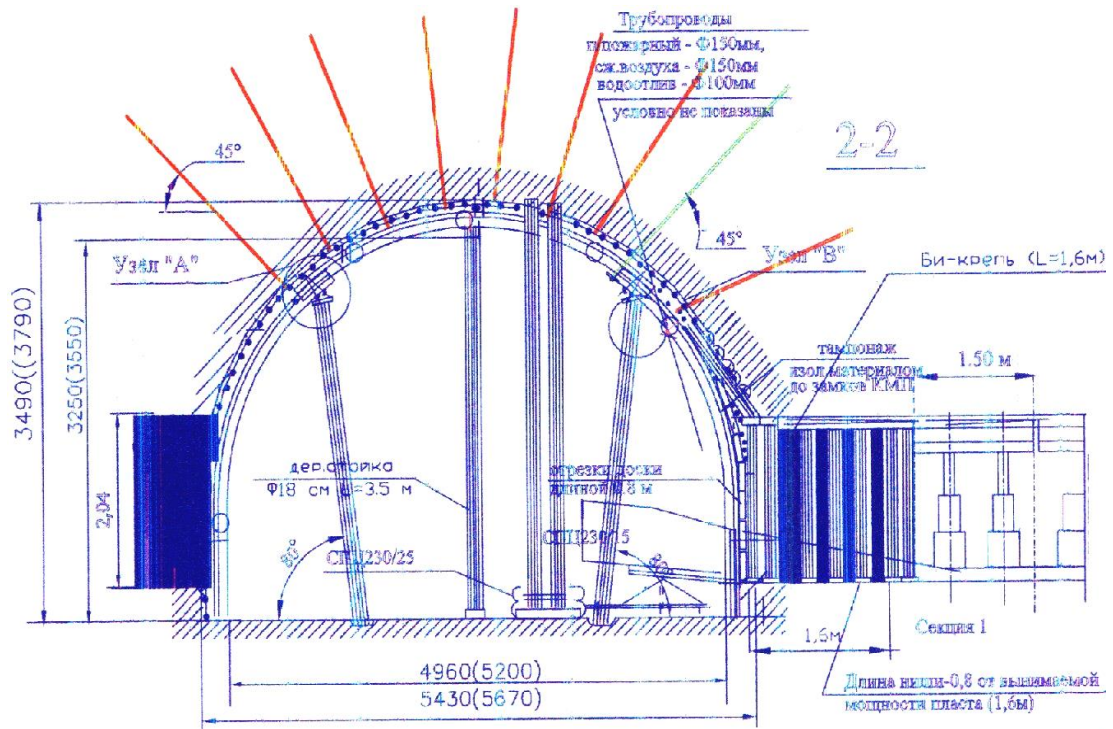


Рисунок 2.2.- Паспорт кріплення конвеєрного штрєку

Глибина розташування конвеєрного штрєку становить 680м. Безпосередньою покрівлею є алевроліт (0,0-8,45м) - темно-сірий, нешаруватий, з детритом вуглефікованої флори, з тонкими лінзами вугілля. Шар алевроліту тріщинуватий, тріщини закритого типу під кутом 75-85°. У місцях залягання шару, де потужність його менш 1,0м - нестійкий, середньої міцності. Основною покрівлею є піщаник (1,20-9,95м) - світло-сірий, польовошпатовий-кварцовий, на глинистому цементі, дрібнозернистий, з пологохвилястим шаруванням за рахунок наміву вуглєслюдистого матеріалу, тріщинуватий, тріщини закритого типу під кутом 80-85° різного орієнтування, міцний.

Крім вимірювань конвергенції на кожній станції фіксувалася нахлестка сегментів рамного металевго арочного податливого кріплення у процесі

переміщення очисного вибою, а також характер деформування і руйнування замків. Фіксувався також кут поздовжнього скручування профілю кріплення. Спроба застосування гірського компаса для вимірювання таких кутів не увінчалася успіхом. Виявилося, що час вимірювання одного кута становить кілька хвилин, а похибка вимірювань перевищує 10^0 . Це не дозволило забезпечити представницьку вибірку даних вимірювань, що ускладнювало статистичну обробку результатів інструментальних спостережень.

Причина полягала в тому, що окремі ділянки рами по її периметру часто зазнавали різні деформації поздовжнього скручування, причому його напрямок також змінював знак, тобто фіксувалися кути скручування як за годинниковою стрілкою, так і проти неї. Ще одна складність зняття кутів поздовжнього скручування пов'язана з тим, що контур рами змінює напрямок від горизонтального (в зведенні перерізу виробки) до вертикального (у підодшви виробки). Через це гірський компас доводилося прикладати то до основи профілю, то до бічних його полиць. Це вимагало перерахунку кутів з урахуванням нахилу бічних полиць і т.д. Оскільки такі вимірювання проводили масово, був розроблений спеціальний транспортир для виміру кута поздовжнього скручування.

На рис. 2.4 наведено зовнішній вигляд транспортира. Він має шкалу 1, підставу 2, перпендикулярно поєднану зі шкалою 1 і вказівну стрілку 3. При проведенні вимірів замірник розташовується у площині перетину вимірюваної рами, а транспортир завжди встановлюється своєю підставою на основу профілю кріплення. Потім вказівна стрілка орієнтується в площині рами і починається відлік за шкалою. На здійснення виміру витрачається кілька секунд, а похибка вимірювань кута поздовжнього скручування спецпрофіля рамного кріплення не перевищує $2-3^0$.

Оскільки кожні спостережні станції склалися з трьох суміжних секцій, у процесі проведення кожної сесії проводилися надлишкові вимірювання, які дозволяли оцінити сумарну похибку величин конвергенції порід на контурі експериментальної виробки, а також нахлестки сегментів рамного кріплення. Сумарна похибка вимірювань конвергенції набагато перевищує похибку інструмента (рулетки). Загальна похибка вимірювань складається з похибки рулетки (не більше 1мм) і похибки, обумовленої випадковими перекосами сегментів рами і елементів замків податливості, а також стохастичністю процесу руйнування вміщуючих виробку порід і незворотного переміщення породних блоків у порожнину виробки [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. На рис. 2.5 наведена гістограма розкиду сумарної похибки вимірювань конвергенції на контурі виїмкових виробок.

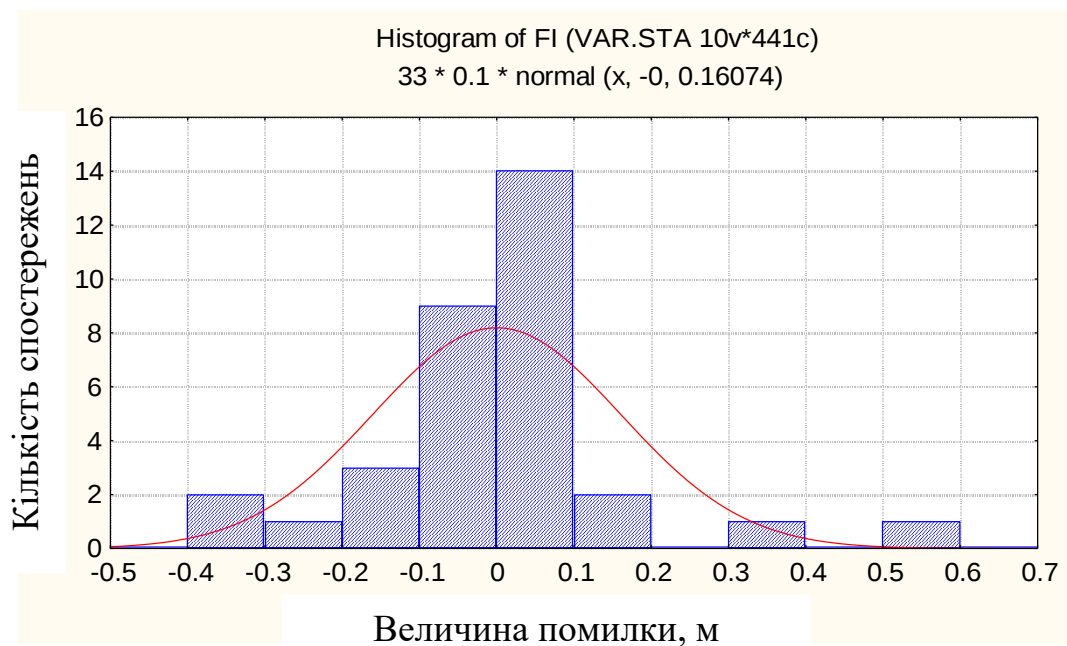


Рисунок 2.5. - Розподіл сумарної помилки вимірювань зсувів порід на контурі підготовчої виробки

Перевірка за допомогою критерію Колмогорова-Смирнова показала, що розподіл похибки не суперечить нормальному закону, а величина стандартного відхилення становить 0,1м.

На рис. 2.6 наведені усереднені графіки зближень покрівлі і ґрунту, а також бокових стінок виробки [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Аналіз графіків показує, що сумарні зближення боків виїмкових виробок на експериментальній і контрольній ділянках позаду зони активних зрушень становить близько 0,9м, а зближення покрівлі і ґрунту 1,4м (табл. 2.1). Максимальна інтенсивність конвергенції та її швидкість реєструється напроти лави і після її видалення не більше, ніж на 20-30м. Саме на цій ділянці реалізується основна податливість литої смуги і відбувається більше половини осідань порід покрівлі в зоні активних зрушень. При цьому інтенсивність горизонтальної і вертикальної конвергенції досягає 25мм / м посування лави, а швидкість 72мм/доб.

Після віддалення лави на 30-40м інтенсивність конвергенції згасає в кілька разів, причому на відстані, що перевищує 150м швидкість конвергенції наближається до сталого фонового рівня в 2-3мм/доб.

Позаду лави на відстані 50-100м накопичується значна величина підняття порід підосви виробки. Загальна величина здимання ґрунту становить близько 1,3-1,5м. При цьому стійки рамних кріплень заганняються в розпушені породи ґрунту на глибину 0,8-1,2м. В результаті виникає необхідність підривання порід ґрунту виїмкових виробок, яке здійснюється з відставанням на 100-120м від рухомої лави.

Інтенсивні деформації порід, що вміщують призводять до вичерпання податливості рамного кріплення. На рис. 2.7 наведені гістограми розкиду величин реалізованої податливості в замках рамних кріплень. Незалежно від конструкції замків податливості розкид величин нахлестки сегментів рамних піддатливих кріплень не суперечить нормальному закону. Середня величина нахлестки в замках ЗСД становить 1,06м при стандартному відхиленні 0,15м. Для замків ЗШ середній рівень нахлестки склав $0,63 \pm 0,11$ м (таблиця 2.1). Очевидно, що зменшення нахлестки сегментів кріплення при використанні замків ЗШ у порівнянні з замками ЗСД пояснюється підвищеним опором замків ЗШ. При цьому зниження податливості замку приблизно обернено пропорційно його опору.

Однак загальні показники проявів гірського тиску в виїмкових виробках свідчить про складний взаємозв'язок цих параметрів з величиною опору замку. Перш за все, різниця як вертикальної так і горизонтальної конвергенції на контурі виробки при різних конструкціях замків податливості не перевищує похибки вимірювань. При величині середньоквадратичного відхилення вимірювань зближення 0,16м різниця величин конвергенції не перевищує зазначені межі в 70% випадків. З ймовірністю 97% можна стверджувати, що графіки конвергенції вміщуючих порід при використанні різних замків податливості практично однакові, оскільки розбіжність величин конвергенції не перевищує 2,5 стандартного відхилення.

Таблиця 2.1. Показники деформації перетину експериментальної виробки

Ділянка	Конвергенція, м		Нахлестка у з'єднаннях, м	
	Горизон- тальна (боків виробки)	Вертикаль- на (покрівлі і підосви)	З боку діючої лави	З боку незайманого масиву
(замок ЗШ)	0,89	1,22	1,05	1,11
(замок ЗСД)	0,95	1,35	0,74	0,54

Для пояснення суперечності між величиною нахлестки сегментів і величиною конвергенції порід на контурі виробки необхідно залучити результати комплексних інструментальних спостережень. У таблицях 2.2-2.3 наведені додаткові узагальнені показники деформації рамного кріплення і замків податливості. Таблиця 2.2 характеризує середні величини кутів поздовжнього скручування профілю рамних кріплень. Видно, що середня величина кута скручування при використанні замків ЗСД становить $5,2^{\circ}$, в той час як при використанні замків ЗШ кут скручування у двічі більше. Інтенсивне поздовжнє скручування профілю рамного кріплення свідчить про її більш інтенсивне руйнування з подальшою втратою стійкості, а значить і несучої

здатності.

Це підтверджується ще одним показником, а саме руйнуванням елементів замків податливості (табл. 2.3). Так на експериментальній ділянці стався розрив скоб замків ЗШ в середньому в 36% випадків, тоді як на контрольній ділянці в замках ЗСД стався розрив вушка планки в середньому в 25% випадків. Слід мати на увазі, що при розриві планки замок зберігає частково функції направляючої, що дозволяє підтримувати контакт у суміжних сегментах рамного кріплення. Навпаки, при розриві скоб замок руйнується повністю, що призводить до розкриття контакту і подальшого перекосу сегментів кріплення і їх заклинювання.

Слід мати на увазі, що не дивлячись на втрату стійкості значної кількості рам експлуатаційний стан виїмкових виробок у цілому зберігся, оскільки значну частку несучої здатності продовжували виконувати анкери. Саме застосування рамно-анкерного кріплення дозволило пом'якшити негативний ефект руйнування елементів рамного кріплення і втрати її несучої здатності.

Таблиця 2.2. Середня величина кутів поздовжнього скручування стійок кріплення, градусів

Ділянка	(замок ЗСД)		(замок ЗШ)	
	З боку діючої лави	З боку незайманого масиву	З боку діючої лави	З боку незайманого масиву
	4	6,5	12	11

Аналіз проведених інструментальних спостережень дозволяє зробити такі попередні висновки. В даній роботі вперше виділений фактор втрати стійкості рамного кріплення у вигляді поздовжнього скручування профілю рамного кріплення. Дано перші кількісні оцінки цього чинника і показано, що збільшення опору замків податливості призводить до зростання кутів

поздовжнього скручування профілю рамного кріплення. Можна припустити, що ефект поздовжнього скручування може призвести до передчасної втрати несучої здатності рамного кріплення. Обґрунтованість цієї гіпотези підтверджується додатковими даними спостережень. У таблиці 2.4. наведено частки зруйнованих кріплень на експериментальній і контрольній ділянках. В якості критерію руйнування кріплення використовувався один із таких очевидних показників: пластичний згин профілю, розкриття з'єднання сегментів, заклинювання сегментів, поздовжнє розщеплення сегментів.

Характерно, що ефект поздовжнього скручування профілю і процеси втрати стійкості рамних кріплень взаємопов'язані. Так на експериментальній ділянці, у межах якого кут поздовжнього скручування у два рази більше, ніж на контрольному, частка зруйнованих рам у півтора рази вище. Крім того пластичний згин спецпрофілю кріплення у 78-82% випадків спостерігається саме на ділянках поздовжнього скручування.

Таблиця 2.3. Додаткова характеристика рам зі зруйнованим профілем

Ділянка	(замок ЗШ)		(замок ЗСД)	
	Відсоток зруйнованих рам , %	Вигин профілю на ділянці поздовжнього скручування, %	Відсоток зруйнованих рам , %	Вигин профілю на ділянці поздовжнього скручування, %
	69	82	43	78

На підставі отриманих попередніх висновків була поставлена задача більш детального дослідження ефекту поздовжнього скручування рамно-анкерних кріплень.

2.2. Натурні дослідження розподілу кута поздовжнього скручування уздовж периметра рамного кріплення

Характер розподілу поздовжнього скручування вздовж периметра рамного кріплення вивчався в умовах 11 східної лави шахти «Комунарська». Пласт k_3 відпрацьовується на глибині 695м (рівень 11 східного конвеєрного штреку). Потужність пласта становить 1,52м. В ґрунті залягає міцний пісковик, який на даній глибині зберігає абсолютну стійкість, не розмокає і не здійснює здійснення. У безпосередній покрівлі залягає шарувата товща аргілітів, алевролітів і вуглистих прошарків. Міцність порід в зонах стиснення не перевищує 40МПа. Тому безпосередня покрівля нестійка у гірничих виробках (у тому числі і в очисному вибої), а вся деформація підготовчих виробок позаду діючої лави відбувається в першу чергу за рахунок зміщення порід покрівлі і, в деякій мірі, бічних стінок виробки.

Лава відпрацьовується прямим ходом з випередженням конвеєрного штреку на 40-50м (рис. 2.13). Це означає, що умови для підтримки виробки досить складні, оскільки штрек потрапляє в зону динамічного опорного тиску попереду рухомого очисного вибою, а потім підтримується в зоні активних зрушень позаду лави. Управління покрівлею в лаві здійснюють шляхом повного обвалення за допомогою комплексу ДМ. Пласт виймають комбайном РКУ-10. На сполученнях використовують секції М-87 (рис. 2.14).

Сполучення конвеєрного штреку з лавою підтримується за допомогою штучної споруди, що викладається з цегли (рис. 2.14). Цегла виробляється власними силами шахти з породи з добавкою в'язучого. Цеглини розміром 30x15x10см пресуються і висушуються. Міцність цегли на стиск становить 20-30МПа. Обстеження стану штреку позаду лави показує, що штучна охоронна смуга зберігає свою міцність і стійкість на всій протяжності виймкової виробки, що добре видно на ділянках, де руйнується решітчатє затягування, а в випадкових місцях виникають оголення стінки штучної смуги.

Ці ж ділянки свідчать про прийнятну якість викладки штучної охоронної споруди і відсутності перерв і пропусків, що дуже важливо для підтримки конвеєрної виробки в задовільному стані. Якщо цеглу доставляють на шахту в сиру погоду, вона у деякій мірі розмокає і частково втрачає міцність

Вентиляційний штрек підтримується бутовою смугою. При цьому породу для закладки беруть від проходки вентиляційного штреку. Це раціональне рішення мінімізує витрати на зведення охоронної смуги, а також сприяє зниженню зольності вугілля.

Опорну смугу біля бровки конвеєрного штреку викладають з перев'язкою цегли на відстані 1 м від стінки виробки. Ширина штучної смуги з цегли складає 2м. При потужності пласта 1,4-1,5м ширина смуги в 1,3 рази більше її висоти, що сприятливо для забезпечення її стійкості і міцності.

Відомо, що зразки породи підвищують межу міцності на стиск в 1,5- 2 рази при збільшенні ширини відносно до його висоти більше одиниці.

Штучне охоронне спорудження викладають позаду секцій сполучення. При цьому між охоронною смугою і зоною повного обвалення залишають закріплений дерев'яними стояками вироблений простір завширшки 4-5м (рис. 2.14), яке по мірі посування лави обрушають шляхом висмикування стійок. Таке рішення треба визнати правильним. З одного боку підтримування стояками виробленого простору забезпечує безпеку робітників, що споруджують штучну смугу. З іншого боку обвалення цього простору сприяє підбутівці смуги та підпору її з боку повстання, що підвищує стійкість охоронної споруди в цілому. Простір між смугою і стінкою виробки закладають порожньою породою, яка підтримується решітчатим затягуванням з боку виробки. Ця демпферна зона підвищує стійкість штучної споруди і осідаючої на неї слабкої безпосередньої покрівлі.

На ділянках з нестійкою покрівлею сполучення лави з конвеєрним

штреком зміцнюють установкою анкерного кріплення. При цьому використовують сталеполімерні анкери довжиною 1,7м з повною інкапсуляцією.

В цілому паспорт кріплення сполучення лави з конвеєрним штреком і якість робіт з його виконання слід визнати практично бездоганними. За існуючих темпів посування лави (60-70м/міс) проблем з доставкою цегли не існує і, крім того, досить часу для якісного виконання операцій щодо управління покрівлею в зоні сполучення лави з виймальною виробкою.

Конвеєрний штрек проходять попереду лави з випередженням на 40-50м (див. рис. 2.13). Це дозволяє рознести очисні і прохідницькі процеси у просторі і усунути можливість затоплення нижньої частини ніші, яка виймається для розміщення приводу лавного конвеєра.

Виробку перерізом у світлі 21м² проходять буропідливним способом. Кріплення п'яти-ланкове КМП з спецпрофілю СВП33. Верхні зчленування (верхняка зі стояками) затискають замком ЗСД плюс додаткова одиночна скоба з планкою. Така конструкція замку дає можливість підняти його опір до 400кН і зберегти працездатність рамно-анкерного кріплення в зоні активних зрушень позаду діючої лави. Досвід шахти показав, що застосування трьох одиночних скоб з планками не вирішує цю проблему. При помітному прояві гірського тиску планки згинаються, скоби рвуться, а рама передчасно втрачає стійкість. У деяких місцях на одиночну скобу одягнені стабілізатори, хоча їх позитивний ефект в процесі експлуатації кріплень не відзначається.

Самі нижні зчленування сегментів рамного кріплення затискають замками ЗСД. При їх відсутності застосовують дві окремі скоби з планками. На верхняк укладають з/б затяжку, боки виробки затягують сіткою, а пласт навпроти майбутнього вікна лави залишають незатягнутим. Після проходження лави це вікно закривають сіткою і забутовують простір між затяжкою і штучної смугою.

На відстані 60-80м зміщення порід покрівлі досягають 1-1,5м, а перетин виробки зменшується в півтора рази. Перекріплення виробки виконують у залежності від інтенсивності прояву гірського тиску з відставанням від лави на відстані 60-130м. На відстані 130м позаду лави висота виробки зменшується до 2,5 м, а площа її перетину меншає до 12-10м².

На окремих ділянках виробку доводиться перекаріплювати двічі, оскільки інтенсивність прояву гірського тиску залишається високою. Однак після першого перекаріплення помітно продовжує зміщуватися тільки покрівля. Інтенсивність зміщення бічних стінок виробки істотно зменшується, що свідчить про високу ефективність штучної споруди, а також позитивний ефект анкерного кріплення на сполученні лави зі штреком.

Незважаючи на високу якість кріплення і вдало спроектований паспорт, у процесі деформації перерізу виробки у зоні активних зрушень спостерігається сильна деформація спецпрофіля, і, зокрема, його поздовжнє скручування і поперечний вигин. Ці деформації є найбільш масовими. У зв'язку з цим проведено інструментальні спостереження за деформацією перерізу виробки і деформацією профілю кріплення.

Кожну арку розбивали на 14 ділянок незалежно від ступеня деформування перетину. Сім перших ділянок нумерували з боку незайманого масиву, а сім наступних - починаючи від центру перетину в сторону лави. Вимірювання висоти і ширини виробки здійснювали рулеткою, а кут скручування профілю за допомогою спеціального транспортира. Початкова довжина елементарної ділянки між сусідніми точками виміру становила близько 1,5м, а при сильній деформації перетину вона падала до 0,5м, так як периметр виробки істотно зменшувався. Такий підхід дозволив зіставити всі спостереження між собою і виявити певні закономірності.

На рис. 2.15. наведено графік розподілу кутів скручування профілю на окремих типових вимірювальних секціях. Точка №8 завжди орієнтована по центру перетину у склеповій частині арки.

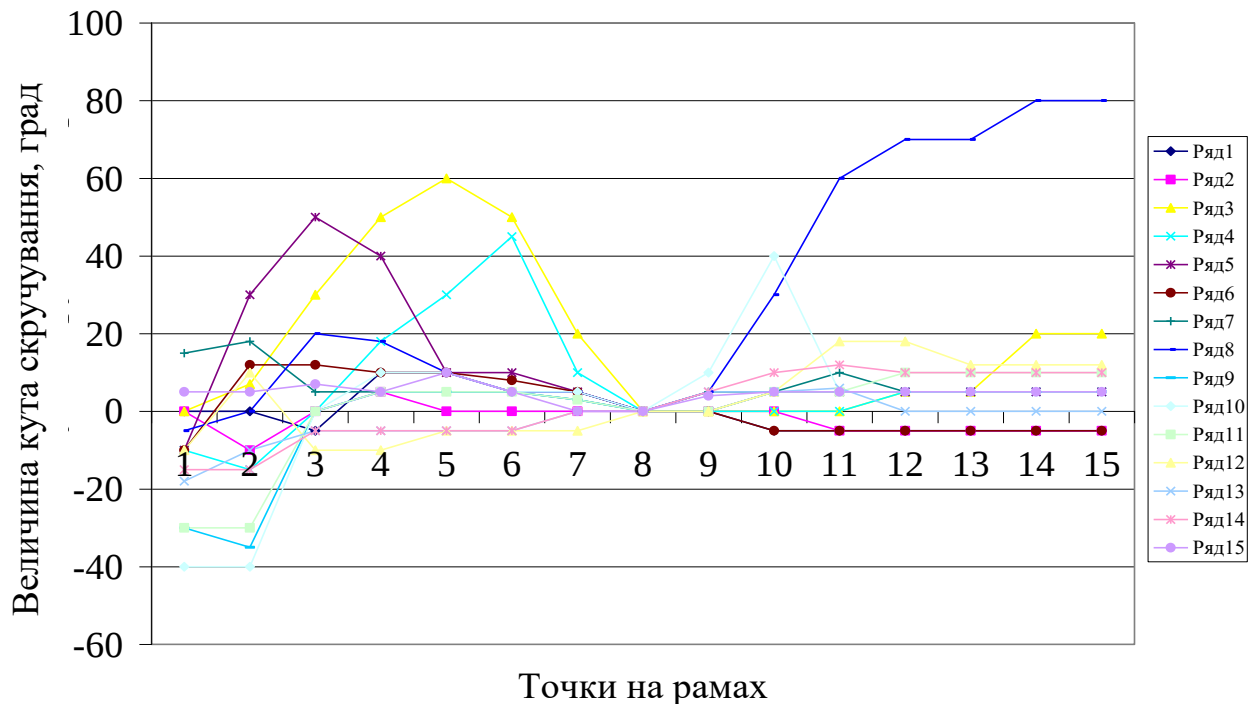


Рисунок 2.15. - Розподіл кутів поздовжнього скручування уздовж периметра рами

Умовно в цій точці кут скручування прийнятий нульовим, хоча на ряді сильно деформованих рам він помітно відрізнявся від нуля. У більшості випадків кут поздовжнього скручування у склеповій частині арки близький до нуля. Цьому сприяє в першу чергу висока якість забутоківки закріпного простору і симетричність самої рами кріплення.

На розподілі видно, що кут скручування на окремих ділянках рам досить великий і сягає рівня $40-80^{\circ}$. Позитивний кут приймався при скручуванні профілю у бік посування лави, негативний в іншому випадку. Скручування профілю відбувається як в сторону лави, так і в іншому напрямку, протилежному її посуванню. В цілому, малі величини кута поздовжнього скручування спецпрофіля зустрічаються частіше, а розподіл кутів узгоджується з логнормальним законом, що збігається з результатами,

отриманими в умовах ш/у Покровське.

На рис. 2.16 показано розподіл середніх величин кутів скручування профілю незалежно від їх знаку. Видно, що профіль закручується на кут $10-16^{\circ}$ в середньому і немає переважної ділянки, на якій б спостерігалось максимальне скручування. Це означає, що поздовжнє скручування профілю рами може статися на будь-якій ділянці рами.

Однак більш небезпечним є, перш за все, не поздовжній поворот перерізу профілю в просторі, а різниця кутів скручування на сусідніх ділянках.



Рисунок 2.17. - Пластичний вигин профілю на ділянці максимального градієнту поздовжнього скручування (шахта ім. Героїв космосу)

Чим ця різниця більше, тим вище ймовірність втрати стійкості профілю а, отже, і несучої здатності рами. Це наочно ілюструється знімком на рис. 2.17. Саме на ділянках, які мають максимальну різницю (градієнт) кутів скручування, найчастіше відбувається вигин сегмента і втрата стійкості рами у вигляді поперечного вигину і подальшого зламу рами.

Розподіл градієнта кута (його різниці на сусідніх ділянках) скручування профілю по довжині периметра виробки. Видно, що максимум градієнта між точками досягає $40-80^{\circ}$. При цьому максимум градієнта може спостерігатися на будь-якій ділянці рами по довжині її периметра і щодо розмірності периметра рами досягає $48^{\circ}/\text{м}$. Менш схильний до скручування лише найнижчий сегмент стояку рамного кріплення з боку відпрацьованого простору (ділянка периметра між точками 13-15). Це можна пояснити відсутністю здимання пісковика і хорошою роботою охоронної споруди. Однак стійка рами, зчленована з верхняками (ділянка між точками 8-13) вже відчуває таке ж інтенсивне скручування, як і решта профілю.

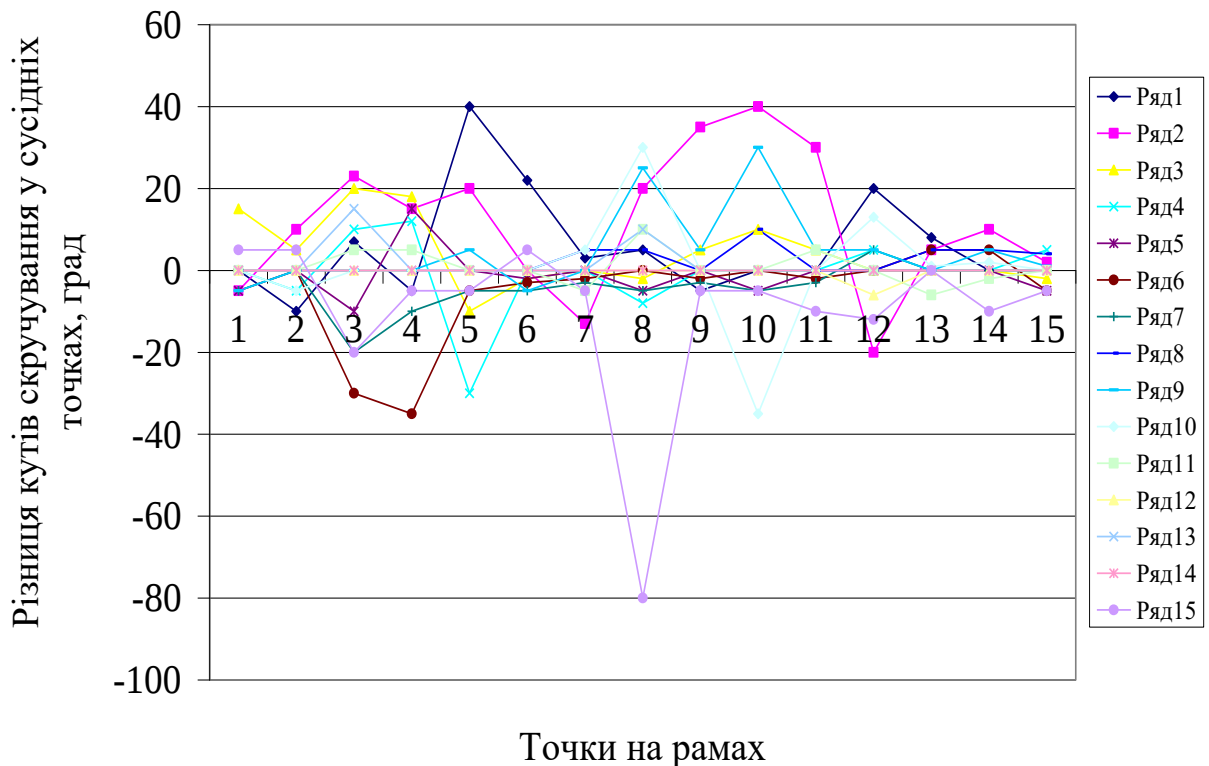


Рисунок 2.18. Розподіл градієнта кута поздовжнього скручування уздовж периметра рами

Гістограма на рис. 2.19 показує, що градієнт кутів скручування профілю розподілений симетрично, причому рідко перевищує 20° , а в більшості

випадків знаходиться в діапазоні 10^0 . За формою розподіл нагадує нормальне з великим ексцесом (видовженістю). Це добре узгоджується з результатами інструментальних спостережень в ш/у Покровське і свідчить про те, що для втрати стійкості рамного кріплення і руйнування профілю не потрібен великий кут поздовжнього скручування.

Орієнтовна оцінка показує, що критична величина кута поздовжнього скручування, за якої починається пластична деформація вигину спецпрофілю знаходиться в діапазоні $10-20^0$. Ця величина буде уточнюватися за допомогою комп'ютерного моделювання процесу спільного деформування рамно-анкерного кріплення та вміщуючих порід у наступному розділі.

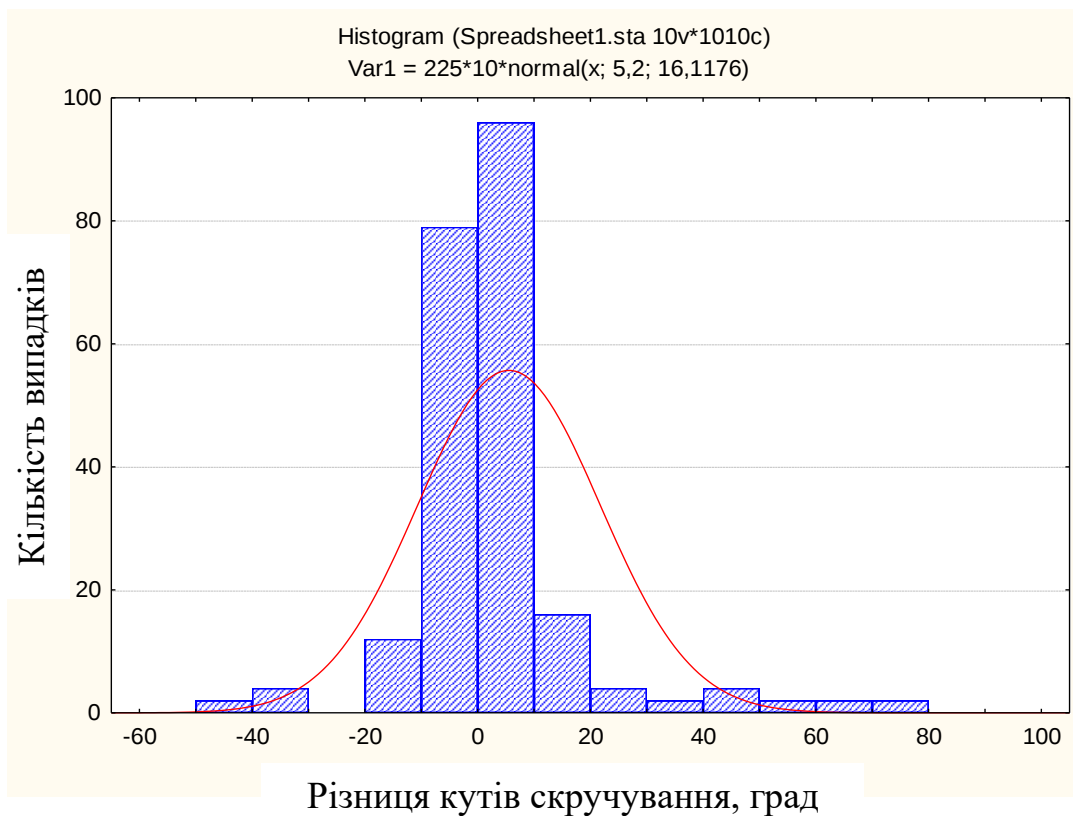


Рисунок 2.19. - Розподіл градієнта кутів скручування рам

Таким чином навіть в умовах зразкового кріплення підготовчої виробки, розклинення рам і якісній забутовки закріпного простору і потужних замках податливості спостерігається поздовжнє скручування спецпрофілю і різка втрата стійкості кріплення. Такий негативний ефект у вираженому вигляді спостерігається після вичерпання проектної податливості рамного кріплення,

в даному випадку 500-800мм. При неякісному кріпленні виробки і відсутності забутівки закріпного простору негативний ефект поздовжнього скручування спостерігається відразу після проходки виробки на відстані 40-60м позаду підготовчого вибою. У переважній кількості випадків перекріплення виробки у момент вичерпання проектної податливості рамного кріплення не здійснюють у зв'язку з напруженим графіком гірничих робіт і в цілях економії коштів.

В результаті рамне кріплення передчасно руйнується і різко втрачає свою несучу здатність через поперечний вигин спецпрофілю. Це призводить до швидкого зменшення площі поперечного перерізу виробки, а також неможливості подальшого відновлення сегментів кріплення для їх повторного використання. Якщо запобігти поздовжньому скручуванню профілю, працездатність рамного кріплення можна значно подовжити, що дозволить продовжити термін служби підготовчих виробок у задовільному стані та забезпечити необхідні умови для вентиляції і транспорту. Збереження рамного кріплення також дає можливість повторного використання спецпрофілю після його вирівнювання на спеціальних правільних машинах.

Як показують натурні спостереження, процес пластичного вигину спецпрофілю рамного кріплення протікає у більшості випадків на ділянках поздовжнього скручування. Очевидно, що механізм вигину і скручування протікає через розвиток згинаючих і скручуючих моментів у сегментах рамного кріплення. Такі моменти у натурних умовах зареєструвати досить складно. Дослідження напружено-деформованого стану рамних кріплень буде виконано на комп'ютерних моделях. Разом з тим будь-які натурні вимірювання, прояви гірського тиску і параметри деформації рам дуже важливі для порівняння розрахункових і фактичних параметрів цього складного геомеханічного процесу. Одним з очевидних параметрів, який можна в масовій кількості виміряти в натурних умовах, є півхвиля моменту, який генерується в сегменті або рамі податливого кріплення. Аналіз результатів таких вимірювань викладається в наступному пункті.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ У РАМНО-АНКЕРНИХ КРІПЛЕННЯХ ПРИ ЇХ РОЗДІЛЬНОМУ І СПІЛЬНОМУ ОПОРІ ГІРНИЧОМУ ТИСКУ

3.1. Обґрунтування методу досліджень

У натурних умовах доступніше вимірюються прояви гірського тиску, які призводять до зміни лінійних розмірів або форми гірничої виробки і рамного кріплення. Ці параметри прояву гірського тиску досліджувалися в попередньому розділі. Напруження і деформації кріплення зручніше отримувати розрахунковим методом. У геомеханіці загально прийнято представляти рамні кріплення у вигляді криволінійних балкових елементів, що формують аркове металеве кріплення [Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Основними параметрами напружено-деформованого стану таких конструкцій є поперечні згинальні моменти, поздовжні скручуючи моменти, зміщення сегментів кріплення уздовж декартових координат і кути повороту навколо осей цих координат. Існує велика кількість рішень задачі про перерозподіл напружень і деформацій навколо таких конструкцій, які отримані методами механіки [19,Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Характерно, що в переважній кількості випадків при обґрунтуванні граничних умов навантаження масиву гірських порід замінюють зосередженими силами або розподіленим згідно рівномірному або нелінійному закону напруженнями на поверхні рамного кріплення.

Результати таких рішень досить абстраговані від реальної поведінки складної геомеханічної системи «кріплення-навколишній масив гірських порід», оскільки зовнішнє навантаження на рамне кріплення і його деформації взаємопов'язані. Це призводить до суттєвого видозмінення епюри зовнішнього навантаження в процесі деформування кріплення, що підтверджується шахтними інструментальними спостереженнями **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**. Так нормальне навантаження на раму в процесі її деформування може змінюватися у кілька разів і в стільки ж оцінюється нерівномірність розподілу навантаження по периметру рами.

Відомі рішення, в яких масив гірських порід і саме кріплення задають в явному вигляді, що дозволяє більш реально врахувати складну взаємодію кріплення і навколишнього масиву гірських порід **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**. Однак у переважній більшості випадків рішення зазначеної задачі отримано в умовах плоского деформованого стану. Це означає, що рамне кріплення замінюється еквівалентною розосередженою вздовж товщини моделі конструкцією типу оболонки, що не дозволяє відобразити динаміку всіх компонент напружено-деформованого стану реального рамного кріплення. Іншими словами, при такому підході отримують дуже наближене рішення про параметри напружень і деформацій у самій рамі. При цьому такий ефект як поздовжнє скручування профілю рамного кріплення оцінити взагалі неможливо.

Сказане висуває вимогу до обліку часу процесу зрушень, що досить складно зробити при використанні методу кінцевих елементів. Набагато зручніше реалізувати такий підхід на основі другого закону Ньютона. Цей підхід вперше запропоновано П. Кундалом **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**, що дозволило розширити можливості чисельних методів і піти від проблем збіжності рішення до стану статичної рівноваги **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**.

посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Це має принципово важливе значення, оскільки процес незворотних зрушень масиву гірських порід на контурі підготовчої виробки підпорядковується кінетичною теорією міцності і протікає в часі.

[illegible]

Диференціальні рівняння руху масиву гірських порід записуються у наступному вигляді

$$\frac{\partial \sigma_{i,j}}{\partial x_i} + \rho b_i = \rho \frac{dv_i}{dt}$$

Де σ_{ij} – нормальні і дотичні напруження, що діють в масиві гірських порід, Па;

x_i - координати декартової системи, м;

ρ – щільність гірських порід, кг/м³;

b_i – питомі сили, що розвиваються в масиві гірських порід, і приводяться до одиниці його маси Н/кг;

v_i - швидкість руху елементарних обсягів масиву гірських порід, м/сек;

t - час, сек.

Якщо права частина дорівнює нулю (з точністю до похибки чисельних

обчислень), настає статична рівновага масиву гірських порід. В іншому випадку породи знаходяться в стані активних зрушень, що супроводжується кінцевою швидкістю зсувів на контурі виробки, яка як показали інструментальні спостереження, змінюється в межах від 3мм/доб до 72мм/доб.

[illegible]

Для моделювання напружено-деформованого стану рамних кріплень і анкерів використовувався метод кінцевих елементів. При цьому рами і анкери задавалися у вигляді набору балкових елементів, які взаємодіють з зонами, на які розбивається товща гірських порід.

Таким чином застосовувалася гібридна модель, що з'єднує переваги методу скінченних різниць та методу скінченних елементів. Це дало можливість вирішувати тривимірні завдання з детальною розбивкою розрахункової схеми і прийнятним машинним часом.

Для дослідження напружено-деформованого стану рамно-анкерних кріплень було здійснено моделювання трьох варіантів кріплення: рамами, рамно-анкерним роздільного і спільного опору. Такий підхід дозволив виділити роль комбінування рамних і анкерних кріплень, а також виявити відмінності деформування при роздільному і спільному опорі рамних і анкерних кріплень при їх комбінуванні.

3.2. Моделювання процесу руйнування і зрушення порід навколо виробки, закріпленої рамним кріпленням

На рис. 3.1 приведена розрахункова схема, яка використовувалася для комп'ютерного моделювання взаємодії масиву гірських порід з рамно-анкерними кріпленнями [Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Для економії машинного часу моделювалася симетрична половина перетину горизонтальної виробки. Перетин приймався арочної форми, а його площа дорівнювала 20м^2 . При цьому ширина виробки становила 5,78м, а висота 3,7м. Межі розрахункової області вниз від ґрунту, вгору від покрівлі і в сторону від бічних стінок виробки розташовувалися на відстанях 10м, 15м і 10м відповідно. Це забезпечило можливість задання простих граничних умов, оскільки вплив виробки на напружено-деформований стан масиву гірських порід на таких відстанях не перевищує 15%.

Глибина розробки приймалася рівною 800м, міцність порід на одновісне стискання становила 45МПа. Модуль об'ємного стиснення порід приймався рівним 5ГПа, модуль зсуву 3ГПа, кут внутрішнього тертя порід 35° , зчеплення 1МПа. Межа міцності на розтягнення 1МПа. Щільність порід становила 2500кг/м^3 , вертикальна компонента гірського тиску 20МПа, горизонтальні 10МПа. Розрахункова область розбита на 9000 зон і 11 тис вузлів.

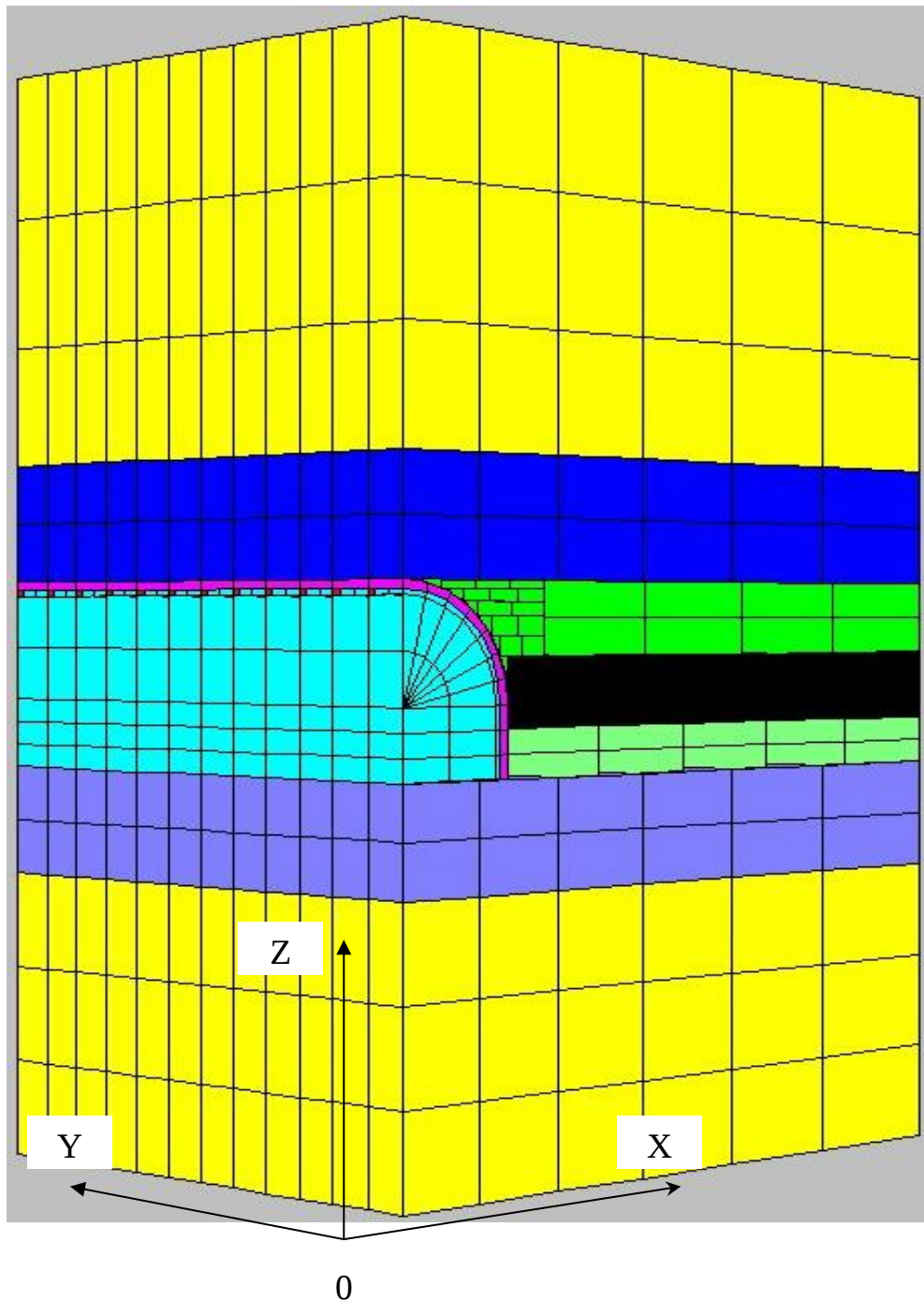


Рисунок 3.1. - Розрахункова схема тривимірного
фрагмента масиву гірських порід в підготовчій виробці

Для того щоб правильно врахувати початковий стан модельованої системи «кріплення - навколишній масив гірських порід» використовувалася реальна черговість процесів виїмки та кріплення гірничої виробки. Для цього спочатку здійснювалося навантаження блоку з гірських порід компонентами нормальних напружень, які відповідали глибині закладення виробки. Важливо

підкреслити, що при цьому забезпечувалася статична рівновага всієї системи, оскільки саме в такому стані знаходиться масив гірських порід до проведення гірничих робіт. Статична рівновага досягалася демпфуванням розбалансування внутрішніх сил в моделі після її навантаження.

Важливо відзначити, що в незайманому блоці гірського масиву заздалегідь задавалася форма виробки. Це здійснювалося шляхом підбору форм зон або елементів, на які розбивалася розрахункова область. На рис. 3.1 це добре видно, оскільки в незайманому масиві гірських порід вже вгадується переріз майбутньої підготовчої виробки. Після досягнення статичної рівноваги здійснювалася виїмка гірської породи усередині порожнини підготовчої виробки. Слід мати на увазі, що моделювалися вміщуючі породи з кінцевою міцністю. Це означає, що виїмка породи супроводжувалася перерозподілом напружень у моделі і руйнуванням порід у тих областях, де умова міцності порушувалася. Оскільки згідно кінетичної теорії міцність порід залежить від швидкості навантаження, слід здійснювати виїмлення з такою швидкістю, яка б відповідала реальній швидкості проходки виробки.

У тому випадку, коли виїмка породи здійснюється миттєво (як наприклад це завжди реалізується в методі кінцевих елементів), виникали динамічні явища навколо порожнини виробки, що спотворювало характер руйнування вміщуючих порід і призводило до коливальних динамічних процесів перерозподілу напружень. В даному випадку такий ефект був небажаний, оскільки він спотворював реальний характер руйнування навколо прохідницької виробки. Реально масив гірських порід навколо підготовчої виробки на великій глибині постійно знаходиться в нерівноважному стані, який лише близький до рівноваги. У результаті зміщення порід змінюються у часі, однак виражені динамічні явища відсутні, а швидкість зміщень порід на контурі виробки, як вже вказувалося, не перевищує декількох десятків міліметрів на добу.

Існує кілька прийомів для імітації процесу повільної зміни напруженого

стану навколо підготовчої виробки, при якому забезпечується стан близький до рівноваги або, у всякому випадку, відсутність динамічних явищ. Для реалізації такого завдання використовувався спосіб поступового плавного розм'якшення порід у межах контуру виробки. Для цього модуль пружності вміщуючих порід зменшували невеликими порціями (наприклад, кожен раз на 5%) і шляхом демпфування нев'язки сил в окремих вузлах розрахункової області знімали динамічні явища. Така процедура повторювалась багато разів до тих пір, поки в кінцевому рахунку в межах контуру виробки створювалась реальна порожнина.

Забезпечення вказаних умов гарантувало реальний шлях навантаження оточуючих виробку порід, що гарантувало адекватну поведінку. На рис. 3.2 показаний характер руйнування вміщуючих порід та їх переміщень на контурі виробки. Найбільш інтенсивні деформації спостерігаються у площині

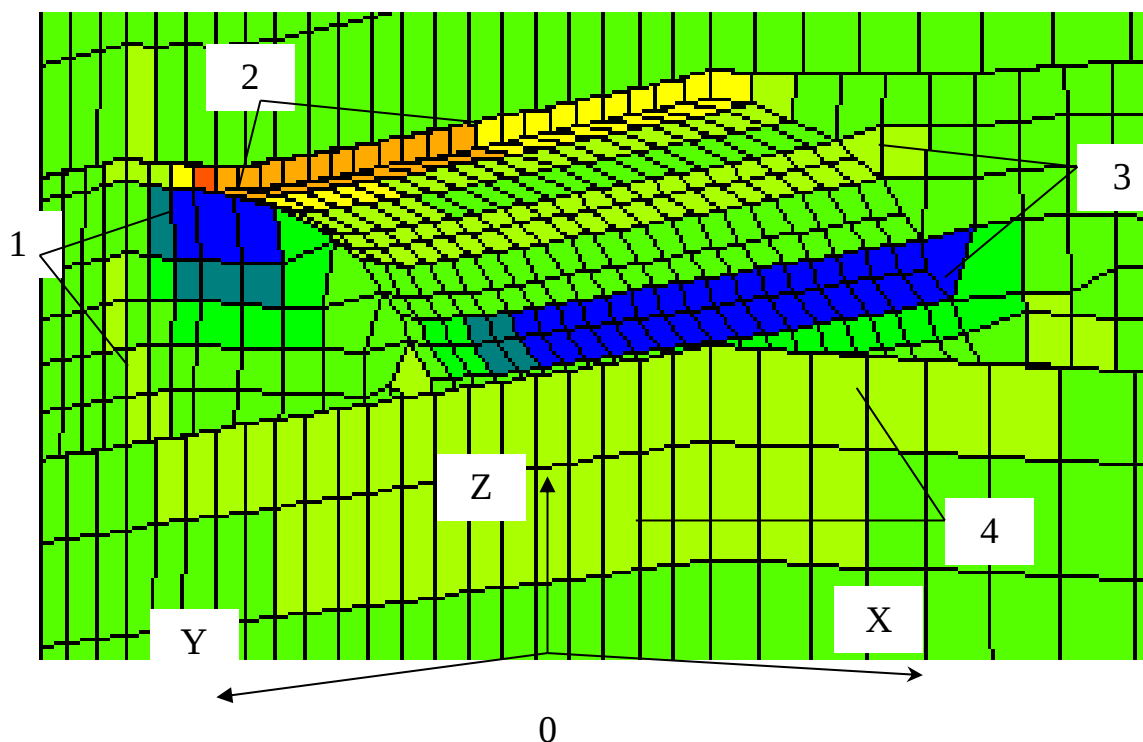


Рисунок 3.2. - Характер інтенсивного деформування порід на контурі виробки в міру відходу підготовчого вибою (16 тис циклів)

підготовчого вибою, де відбувається віджимання порід 1 і руйнування масиву

попереду вибою на відстані 0,5-1,0м. У покрівлі виробки реєструється інтенсивне осідання порід 2, що призводить до збільшення вертикального навантаження на рамне кріплення і анкери, встановлені вертикально. Бічні стінки виробки відчують віджим 3 і зміщуються в її порожнину. Спостерігається також здимання ґрунту 4 і підняття його у вигляді зворотного склепіння. Швидкості вертикальної конвергенції на контурі виробки максимальні безпосередньо позаду підготовчого вибою і знаходяться в межах 10-20мм/добу. Темпи зближення бокових стінок виробки становлять 6-12мм/добу. Спостерігається тенденція зменшення швидкостей конвергенції покрівлі і ґрунту, а також зближення бічних стінок з видаленням підготовчого вибою, хоча в самому вибої виражений тривимірний характер зрушень.

У процесі проведення підготовчу виробку кріпили рамним і анкерним кріпленням. Кріплення встановлювали у тупику виробки відповідно до вимог [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Як вже згадувалося, перша задача вирішувалася тільки з урахуванням установки рамного кріплення. При цьому використовували триланкове рамне кріплення типу КМП із спецпрофілю СВП33. Рами встановлювалися з кроком 1м. На рис. 3.3 показаний характер зростання навантаження на рамне кріплення у початковий період, тобто відразу після проходки виробки і встановлення кріплення. Видно, що найбільш навантажені верхняки рам, що добре узгоджується з характером зміщень порід на контурі виробки, який обговорювався вище і зображено на рис. 3.2.

Важливо підкреслити, що вплив підготовчого вибою на тривимірний характер деформацій порід навколо виробки істотно згасає вже на відстані 10м. Завдяки цьому на такій дистанції можна виділити вертикальний перетин, який знаходиться у стані, близькому до плоскої деформації. У зв'язку з цим для подальшого моделювання процесу взаємодії рам, анкерів і порід був виділений фрагмент товщиною 2,5м, який показаний на рис. 3.4. При цьому початковий стан моделі в межах цього фрагмента приймався у вигляді рішення, отриманого на повній моделі, наведеній на рис. 3.2-3.3, тобто шлях

навантаження був врахований з урахуванням впливу підготовчого вибою і тривимірного характеру деформацій в його околиці. Це дозволило заощадити на кількості зон, на які розбивається розрахункова область, а значить, і скоротити час розрахунків і обробки їх результатів.

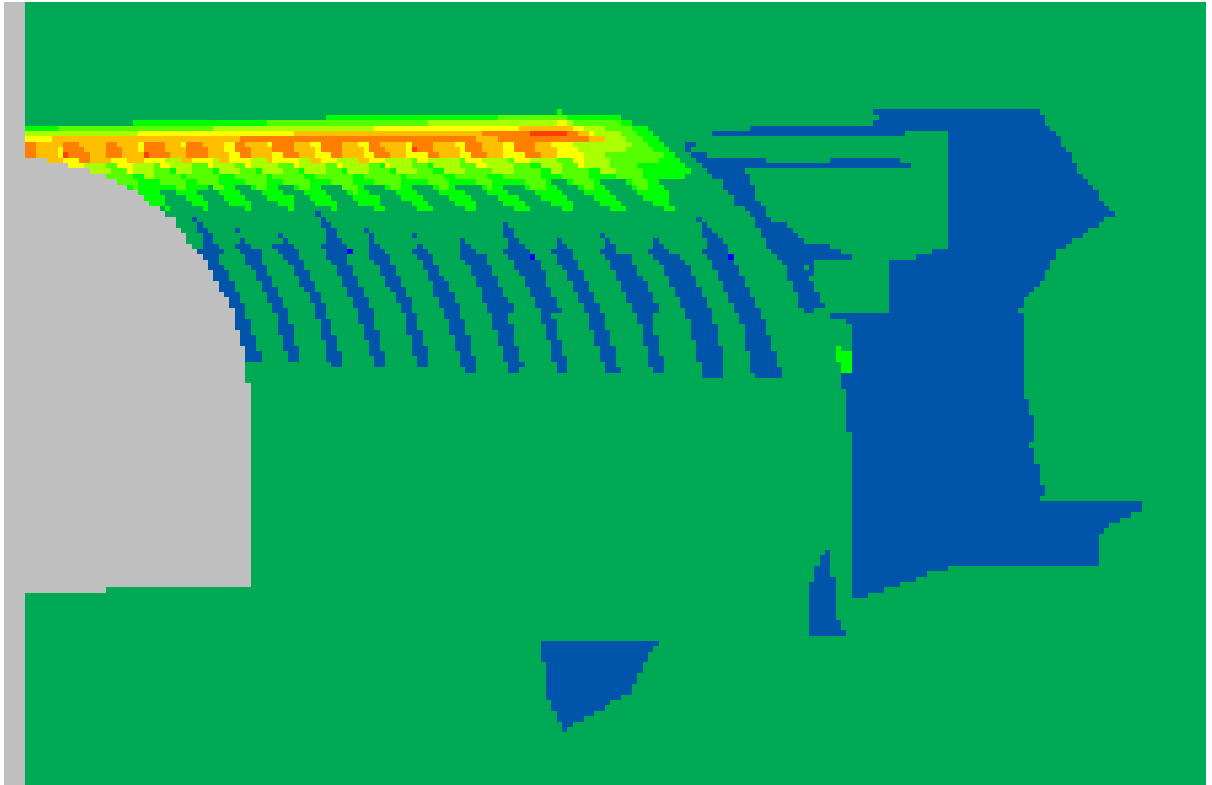


Рисунок 3.3. - Початкова стадія наростання навантаження на рамне кріплення. Максимум стискуючих напружень (червоним) становить 230 кН

Незважаючи на таку заміну, просторовий характер напружено-деформованого стану і раніше враховувався в повній мірі. Так на ділянці 2,5м встановлювали дві рами кріплення і три ряди анкерів (анкери для вирішення наступних завдань). Іншими словами далі тривало рішення реальної тривимірної задачі, проте для економії часу і пам'яті комп'ютера розміри розрахункової області зменшили, а на її границях заборонялися зміщення вздовж осі виробки. На нижньому фрагменті рис. 3.4. наведено окремо дві рами аркового кріплення.

На рис. 3.5 показаний балочний елемент, з подібних якому набиралися

рамні кріплення. Всі силові і деформаційні параметри зручно характеризувати в локальній системі координат. При цьому вісь X завжди орієнтована уздовж балочного елемента, а значить проходить уздовж осі (периметра) арки повторюючи її форму. Уздовж цієї осі відбувається поздовжнє стиснення рами під дією сили F_x , яка також викликає взаємне проковзування сегментів кріплення один щодо одного і поздовжнє скручування спецпрофіля кріплення під дією моментів, M_x що скручують спецпрофіль уздовж продольної осі. Вісь Z завжди орієнтована по нормалі до балкових елементів. Це означає, що сила F_z характеризує нормальне навантаження сил гірського тиску на раму.

Саме це навантаження у більшості випадків розглядається як головна сила гірського тиску. Зазначене навантаження викликає дію поперечних згинальних (нормальних) моментів M_y , протидія яким і є згідно з технічними правилами головним завданням рамного кріплення. Саме виходячи з величини зазначеного моменту проектується форма і підбирається площа або типорозмір спецпрофіля, наприклад СВП22 в легких гірничо-геологічних умовах або СВП33 у важких. Вісь Y завжди орієнтована уздовж осі виробки. Сили F_y і відповідний їй згинаючий момент M_z породжують поперечний косий вигин спецпрофіля, про який говорилося в попередньому розділі. Саме ці параметри спільно з поздовжнім скручуванням напруженого стану призводять до передчасної втрати стійкості рами.

Перевагою даної роботи є спільне моделювання незворотного деформування вміщуючих підготовчу виробку порід і рамних, а також анкерних кріплень з урахуванням реального деформування в тривимірному просторі. У зв'язку з цим здійснюється паралельний аналіз напружено-деформованого стану оточуючих виробку порід і силових, а також деформаційних характеристик рам і анкерів.

На рис. 3.6 показано розподіл вертикальних нормальних і дотичних напружень навколо підготовчої виробки. Ці компоненти найбільш показові з точки зору аналізу зони руйнувань навколо підготовчої виробки.

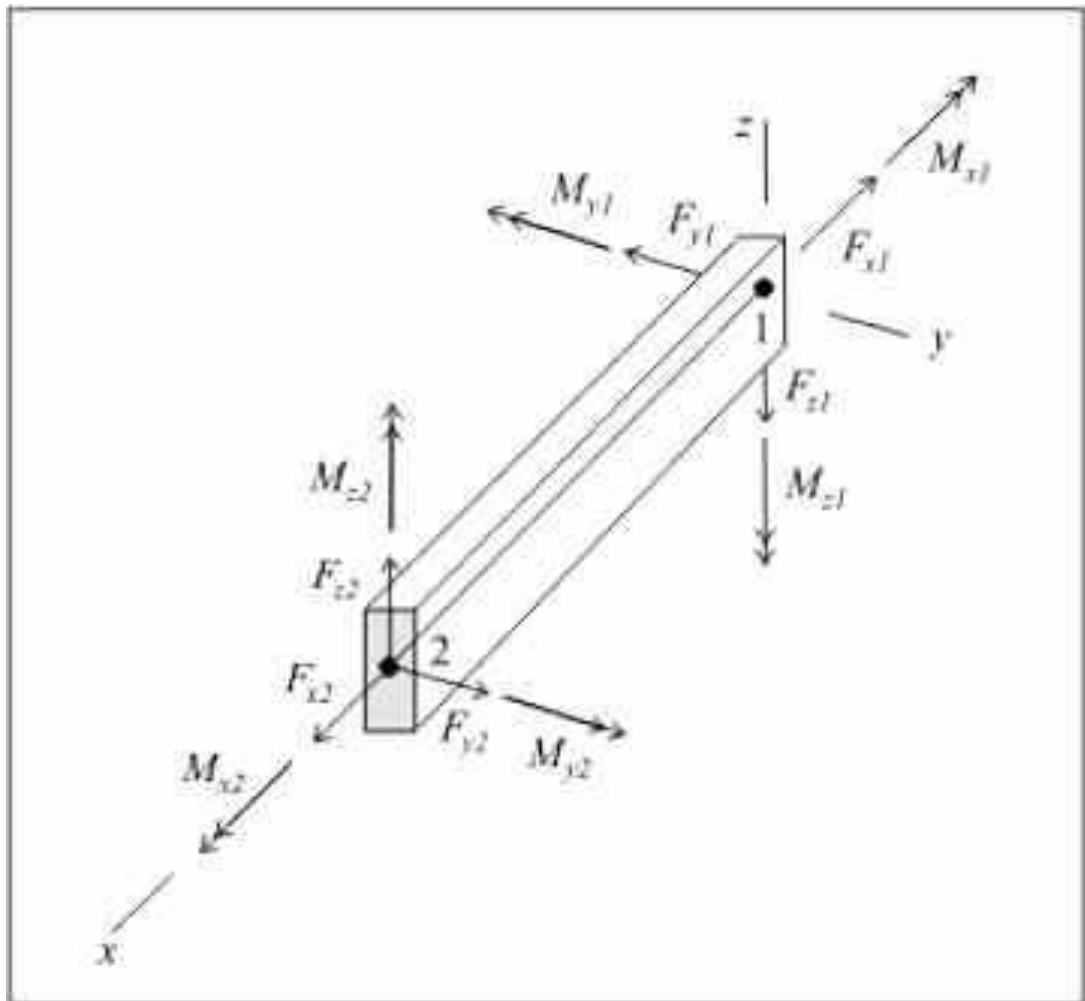


Рисунок 3.5. – Балочний кінцевий елемент, з яких збиралися рамні кріплення

В результаті інтенсивних деформацій навколо виробки на початковому етапі її експлуатації виникає локальна зона, розвантажена від гірського тиску. На фрагменті (б) рис. 3.6 наведено розподіл вертикальної нормальної компоненти напружень, яке підтверджує вище сказане. Так в покрівлю виробки на висоту півтори ширини перетину поширюється розвантажена зона 1, в межах якої величини компоненти вертикальних нормальних напружень не

перевищують 80% від початкового геостатичного рівня. Приблизно така ж зона локального розвантаження виникає в породах ґрунту 2 виробки. Найбільший ступінь розвантаження спостерігається на відстані 1м у покрівлю та 1,5м в підшву виробки. У бічних стінках на ділянках прилеглих до порожнини виробки глибина розвантаженої зони 3 не перевищує 0,5м, а зона концентрації 4 пересунулась у глиб масиву.

На рис. 3.6 (а) показано розподіл дотичних напружень у площині поперечного перерізу виробки. Видно, що над бічною стінкою виробки діють максимальні дотичні напруження 5,6, які здійснюють зрушення проти годинникової стрілки, а з боку ґрунту дзеркально розташована зона цих деформацій зворотного знаку. Характерно, що ядра зон максимумів тангенціальних напружень зміщені вглиб масиву на величину віджиму бічних стінок. Така картина розподілу дотичних деформацій добре узгоджується з загальними уявленнями про напружено-деформований стан, що свідчить про надійність самої моделі.

Отримані розрахункові розміри зони зруйнованих порід навколо підготовчої виробки задовільно узгоджуються з даними інструментальних спостережень, наведеними на рис. 3.7, причому розбіжність розмірів розвантажених зон не перевищує 28%. Розміри зони зруйнованих порід в натурних умовах отримані навколо бремсберга блоку 10 за допомогою радіоінтроскопічного методу [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Ступінь тріщинуватості вміщуючих порід контролювали за величиною загасання електромагнітного поля в вимірювальних шпурах.

У результаті руйнувань порід навколо виробки виникають інтенсивні деформації, які призводять до зсувів порід в порожнину виробки на величину 120мм. При ідеальній забутовці закріпного простору, яка імітувалась в даній моделі спільним обтисненням рам з боків і з покрівлі, а також з боку ґрунту повинно створювати поздовжні зусилля у профілі рами. Дійсно, на рис. 3.8, а показано, що уздовж осьової лінії профілю рамних кріплень виникають поздовжні зусилля стиснення, які найбільш помітні у верхній частині рами.

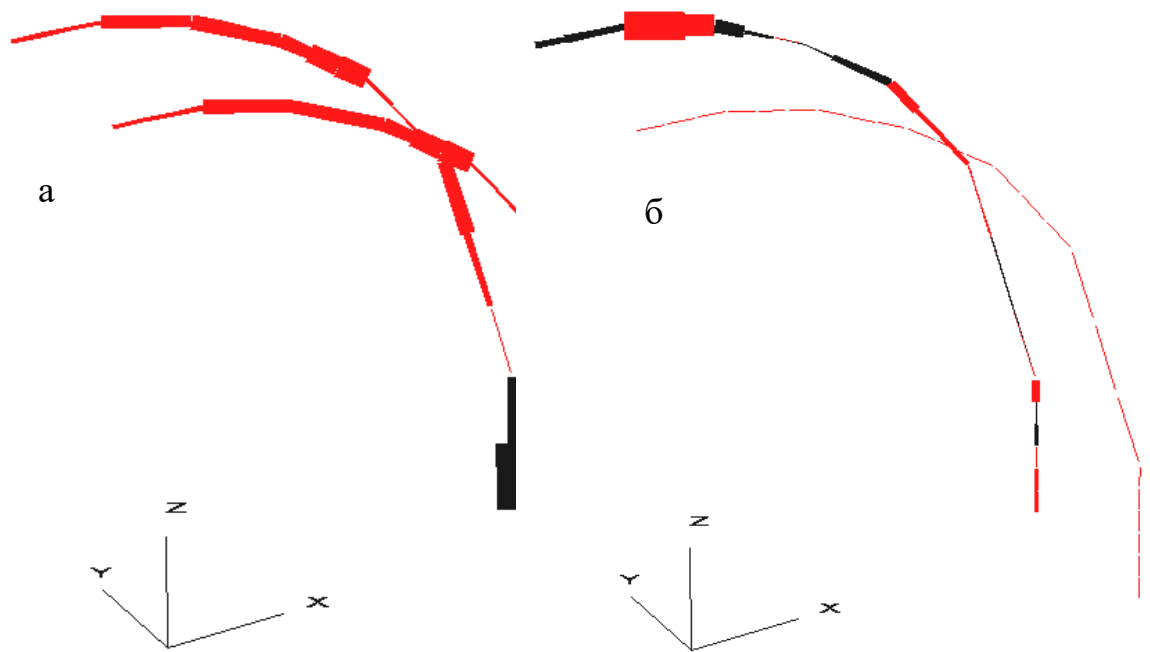


Рисунок 3.8.- Розподіл поздовжніх зусиль і скручуючих моментів у рамах кріплення. Максимум стиснення становить 50 кН

Величина цих зусиль поки невелика і не перевищує 35-50кН. Проте навіть за таких зусиль генеруються крутні моменти, величина яких складає близько 1-2кНм. Характерно, що крутні моменти розподілені таким чином, що їх знаки вздовж периметра чергуються. Це означає, що на розподілі зареєстровано принаймні 4 крутних моменти, два з яких скручують профіль за годинниковою, а два проти годинникової стрілки.

З урахуванням симетрії модельованого перетину отримуємо 7 ділянок рис 3.8,б, на яких крутні та згинальні моменти змінюють знак. Отримана розрахункова кількість ділянок добре узгоджується з експериментально встановленими і наведеним на рис. 2.27. Такий збіг розрахункових і вимірних параметрів гарантує достовірність висновку про важливу роль поздовжнього скручування рамного профілю в подальшому механізмі втрати стійкості рамного кріплення.

Надалі епюри навантажень і моментів будуть показуватися по одній рамі, щоб не затемнювати креслення. На наступних малюнках будуть наводитися тільки контури другої рами, щоб полегшити орієнтування

перерізу, яке взято з розрахункової схеми на рис. 3.4.

У площині рами виникають поперечні зусилля, які прийнято називати нормальними (рис. 3.9, а). Саме ці зусилля повинно за проектом сприймати рамне кріплення. В даному випадку поки найбільші зусилля спостерігаються в стійках рамного кріплення. Зазначені поперечні нормальні зусилля F_z породжені поперечними згинальними моментами M_y , яким по ідеї повинно опиратися рамне кріплення. Розподіл цих моментів наведено на фрагменті (б) рис. 3.9. Видно, що моменти, які діють на рамі, змінюють свій знак уздовж її периметру.

Аналогічна картина спостерігається у ставленні поперечної сили F_y і моменту M_z , яким вона породжується (рис. 3.10). Загальна закономірність розвитку цих силових характеристик полягає в тому, що в міру протікання незворотних інтенсивних деформацій порід навколо підготовчої виробки поперечні зусилля, а також поздовжні скручуючі і поперечні згинальні моменти в профілі періодично змінюють свою величину і знак. На початковому етапі деформування рам ці зміни носять хаотичний характер.

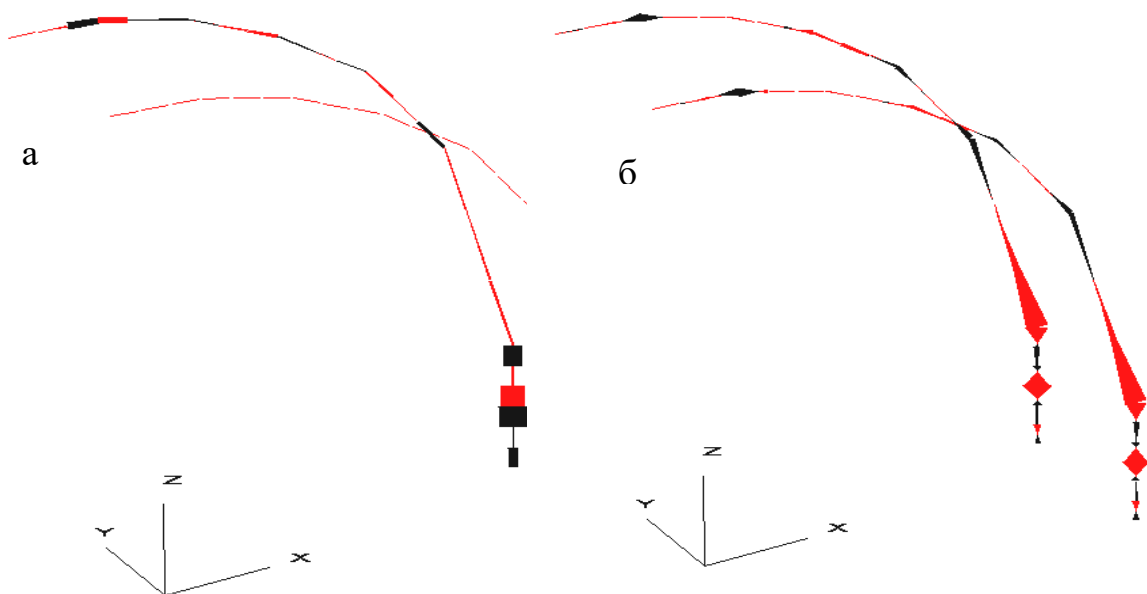


Рисунок 3.9. - Розподіл поперечних зусиль і нормальних скручуючих моментів в площині рами

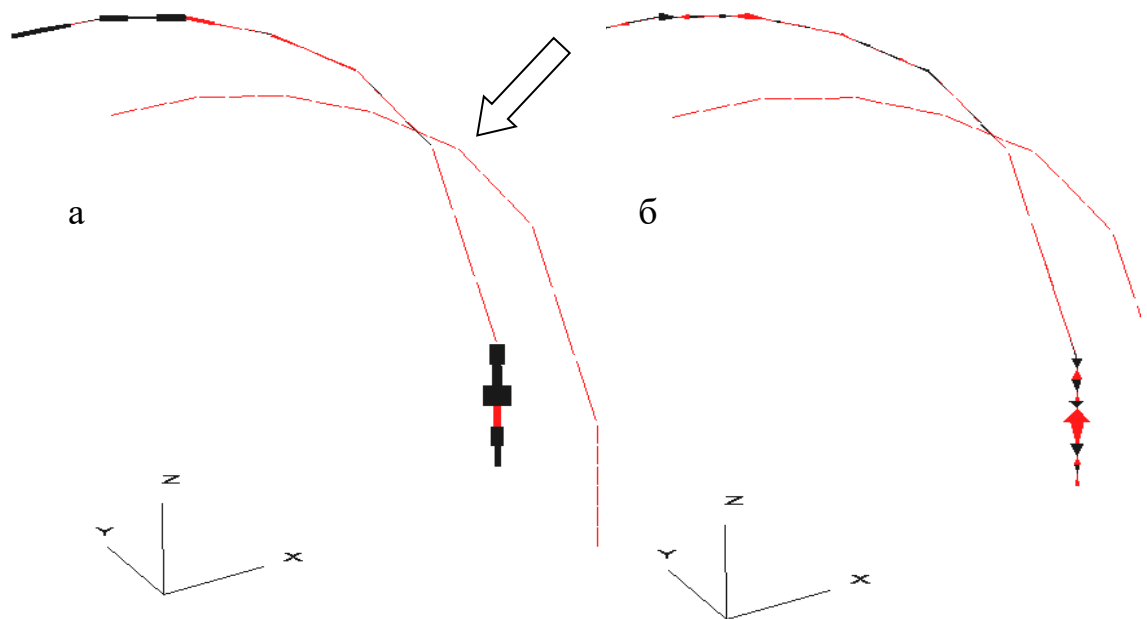


Рисунок 3.10. - Особливості розподілів поперечних сил і згинальних моментів уздовж осі виробки

Цю особливість можна пояснити тим, що окремі елементарні породні блоки, прилеглі до підготовчої виробки руйнуються і зміщуються в порожнину виробки по черзі, як було раніше доведено в роботах [Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. При цьому шлях навантаження кожного з блоків з одного боку індивідуальний, а з іншого він узгоджується з шляхами навантаження інших блоків таким чином, щоб в кожен момент часу геомеханічна система «кріплення - навколишні породи» володіла мінімальною потенційною енергією деформації.

Стохастичний характер зміни крутних і згинальних моментів під час навантаження рамного кріплення підтверджується детальним тимчасовим аналізом. На рис. 3.11 наведені графіки зміни моментів: крутного M_x (або M_k) і згинальних M_y і M_z протягом перших 9200 циклів розрахунку. Всі дані на цьому графіку відносяться до сегменту кріплення, який прилягає до замку податливості рами, і вказано на рис. 3.10 стрілкою. На графіках можна бачити як всі розглянуті моменти хаотично змінюють величину і знак, що свідчить про складність процесу деформування рамного кріплення в реальних умовах.

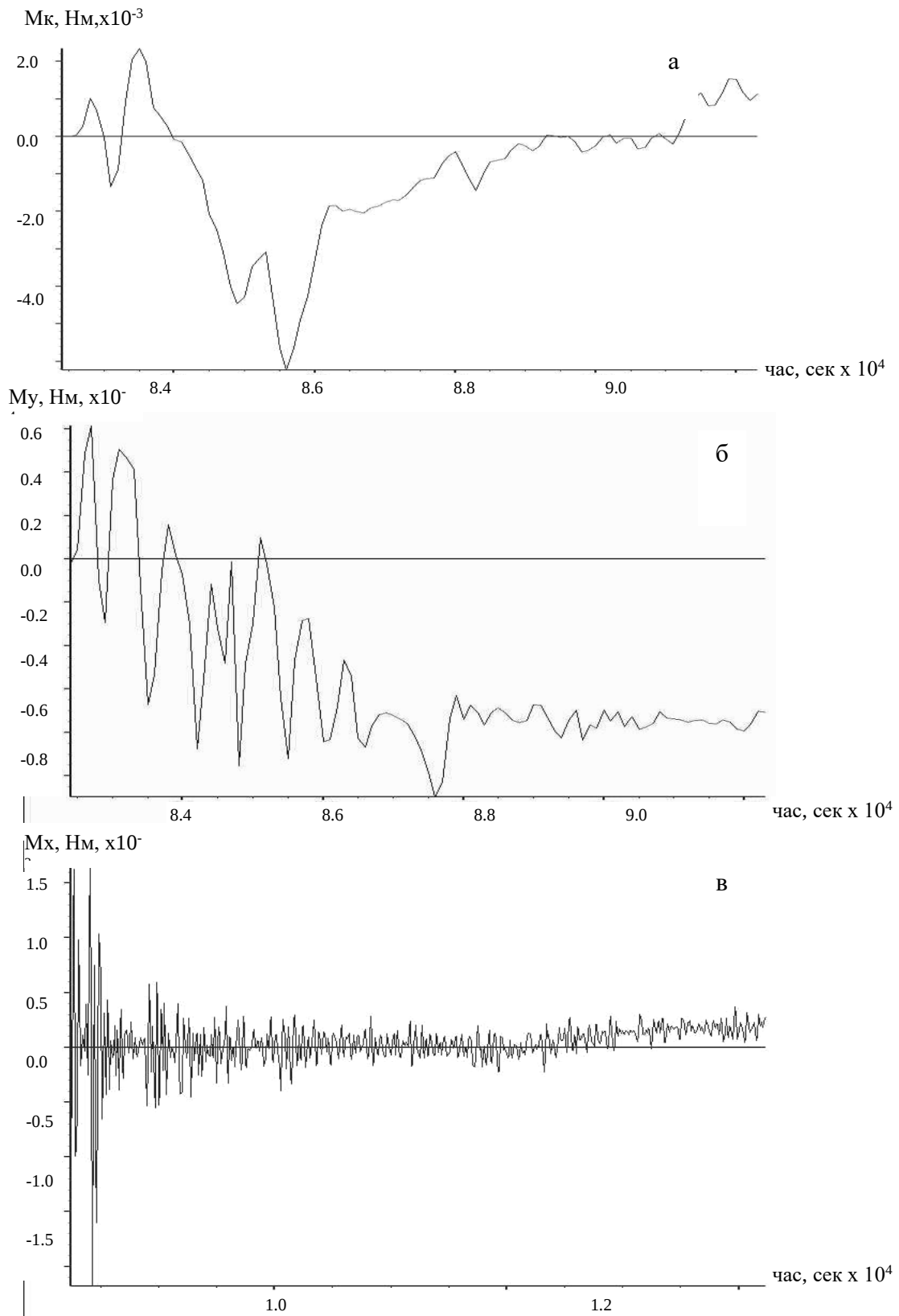


Рисунок 3.11. - Графіки зміни крутного M_k і згинальних моментів M_y і M_x в рамному сегменті у замку податливості на початковому етапі навантаження рами (9200 циклів)

У міру збільшення зсувів на контурі виробки і деформування рамного кріплення відбувається відбір стійких форм профілю і розподіл поперечних, поздовжніх сил, а також згинальних і крутних моментів які відносно стабілізуються. У такому положенні кріплення деформується до тих пір, поки не настане його руйнування у вигляді пластичного вигину в критичному місці (або в декількох місцях відразу або послідовно).

Момент настання пластичного вигину сегментів рамних кріплень перевірявся за сучасною енергетичною теорією міцності сталі.

$$\sqrt{(M_{\text{и}}^2 + 0,75 M_{\text{к}}^2)}/W \leq [\sigma]$$

де $M_{\text{и}}$ - згинальний момент, діючий на сегмент рамного кріплення;

$M_{\text{к}}$ - скручуючий (крутний) момент;

W – момент опору;

$[\sigma]$ – допустимі напруження в сталі, з якої виготовляється спецпрофіль рамного кріплення.

На рис. 3.12 приведені розподіли напружень і зміщень навколо перетину підготовчої виробки на кінцевому етапі моделювання. Помітна сильна деформація перерізу виробки й істотний перерозподіл вертикальної компоненти нормальних напружень. Так розміри зони руйнувань навколо виробки збільшилися в кілька разів, про що можна судити по величині зони розвантаження (чим темніше область, тим більше ступінь розвантаження - фрагмент а). Максимум розвантаження спостерігається в породах ґрунту і бічних стінках виробки. У сводовій частині перетину розвантаження менше, оскільки абочна форма перетину сприяє самозаклинюванню раніше зруйнованих порід.

Величина осідання порід покрівлі досягла в центрі перетину 350мм або 11% від початкової висоти виробки.

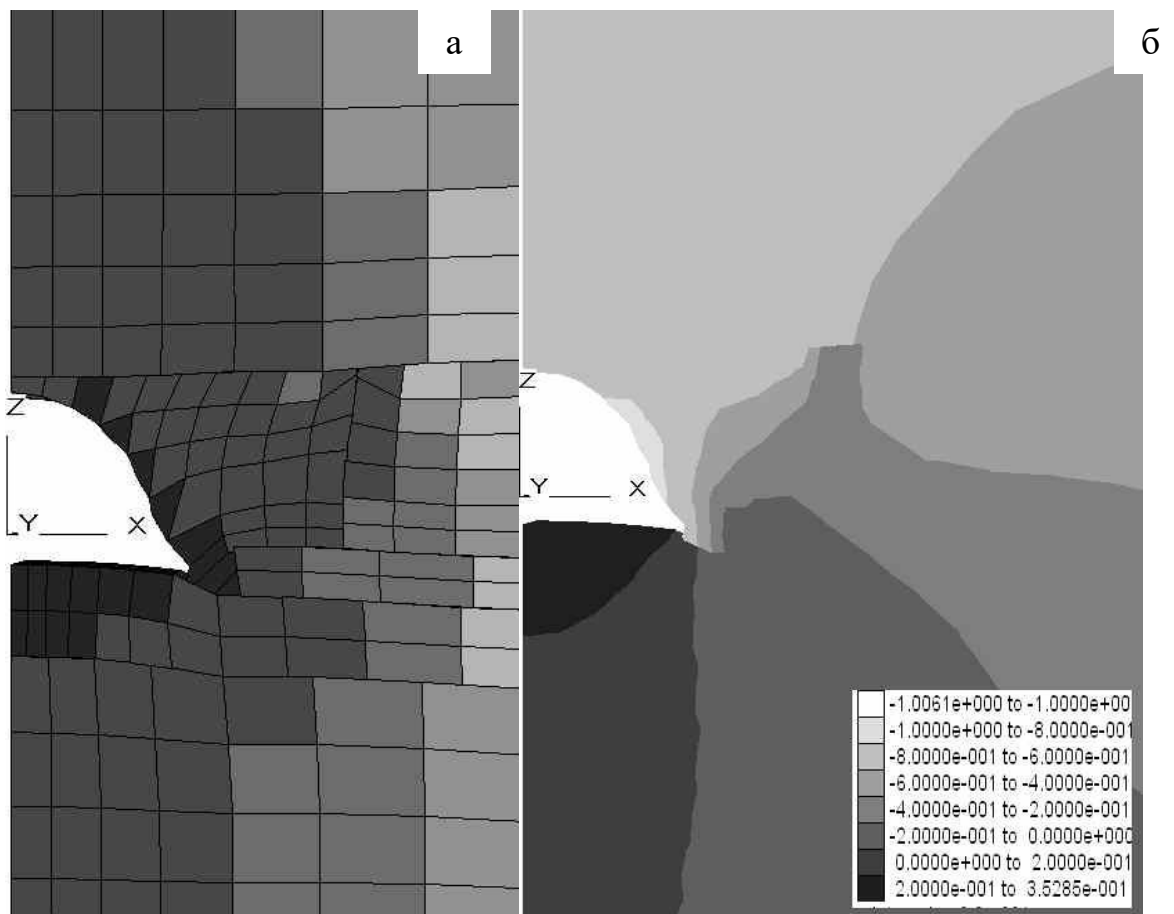


Рисунок 3.12. - Збільшення зони зруйнованих порід навколо виробки (а) в результаті інтенсифікації зрушень (б)

Породи ґрунту піднялися на 600мм, що становить 18%. В цілому вертикальний розмір перерізу виробки зменшився на 52% (фрагмент б на рис. 3.12), а зона підвищених напружень в боках виробки відсунулася майже на 3м углиб масиву.

Такі інтенсивні деформації перерізу виробки призвели до збільшення поздовжніх зусиль в рамі по всьому її периметру (рис. 3.13, а) і крутних моментів (фрагмент б). Характерно, що зростання як крутного, так і згинальних моментів сталося узгоджено, що видно на графіках рис.3.14. Це підтверджує факт відбору системою кріпильних рам певної моди деформування, яка є відносно стабільною і у кінцевому рахунку призводить до втрати стійкості рами у вигляді пластичного вигину її найбільш небезпечної ділянки, яка відбувається при куті поздовжнього скручування близько 14° .

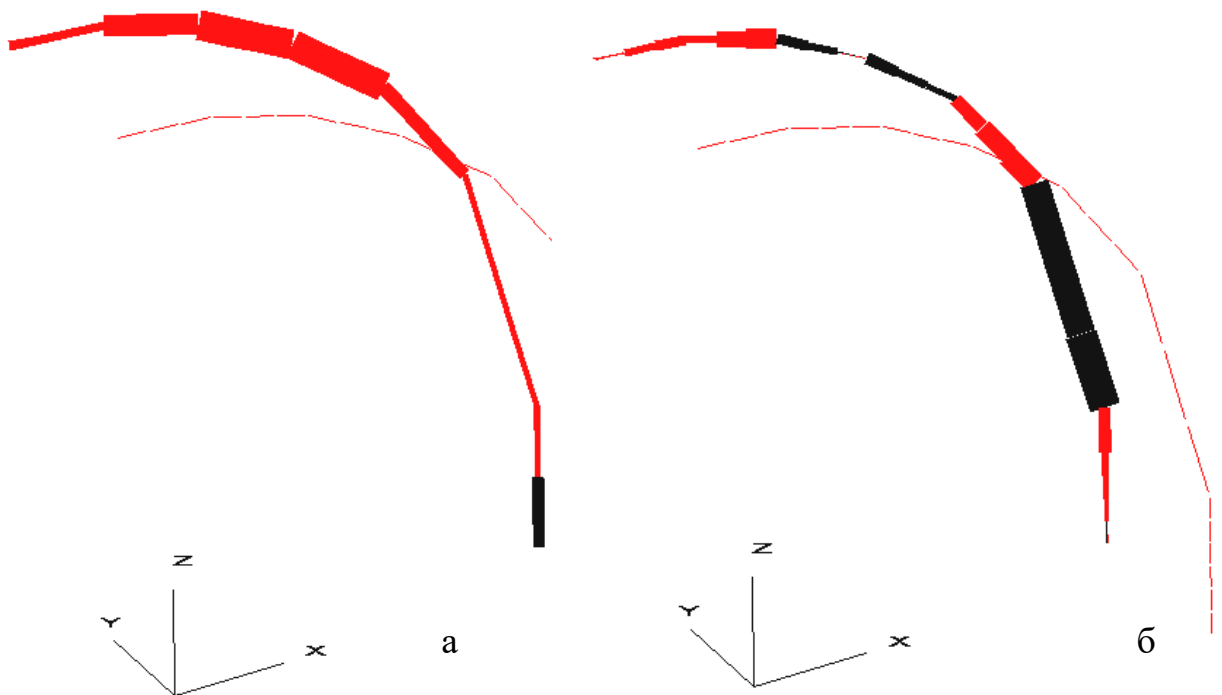


Рисунок 3.13. - Розвиток поздовжніх зусиль (а) і крутних моментів (б) рамного кріплення при зменшенні перерізу виробки: максимум стиску 354кН; моменту – 26450Нм

У даному випадку межа текучості сталі ст 5 пс (255 МПа) була перевищена у стояку (рис. 3.13,б) під дією крутного й згинального моментів. Виконане моделювання підтвердило важливу роль поздовжнього скручування профілю рами в механізмі втрати її стійкості і несучої здатності. Для пояснення цього механізму необхідно врахувати кілька важливих обставин. По-перше рамне кріплення, що застосовується на вітчизняних шахтах скріплюється між собою всього трьома міжрамними стяжками, міцність яких, як показала практика, занадто мала для того, щоб забезпечити просторову стійкість рам. У зв'язку з цим рами фактично мають три степені вільності для свого деформування, а не два, як передбачено технічними правилами експлуатації. Третя степінь вільності орієнтована у напрямку осі виробки [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

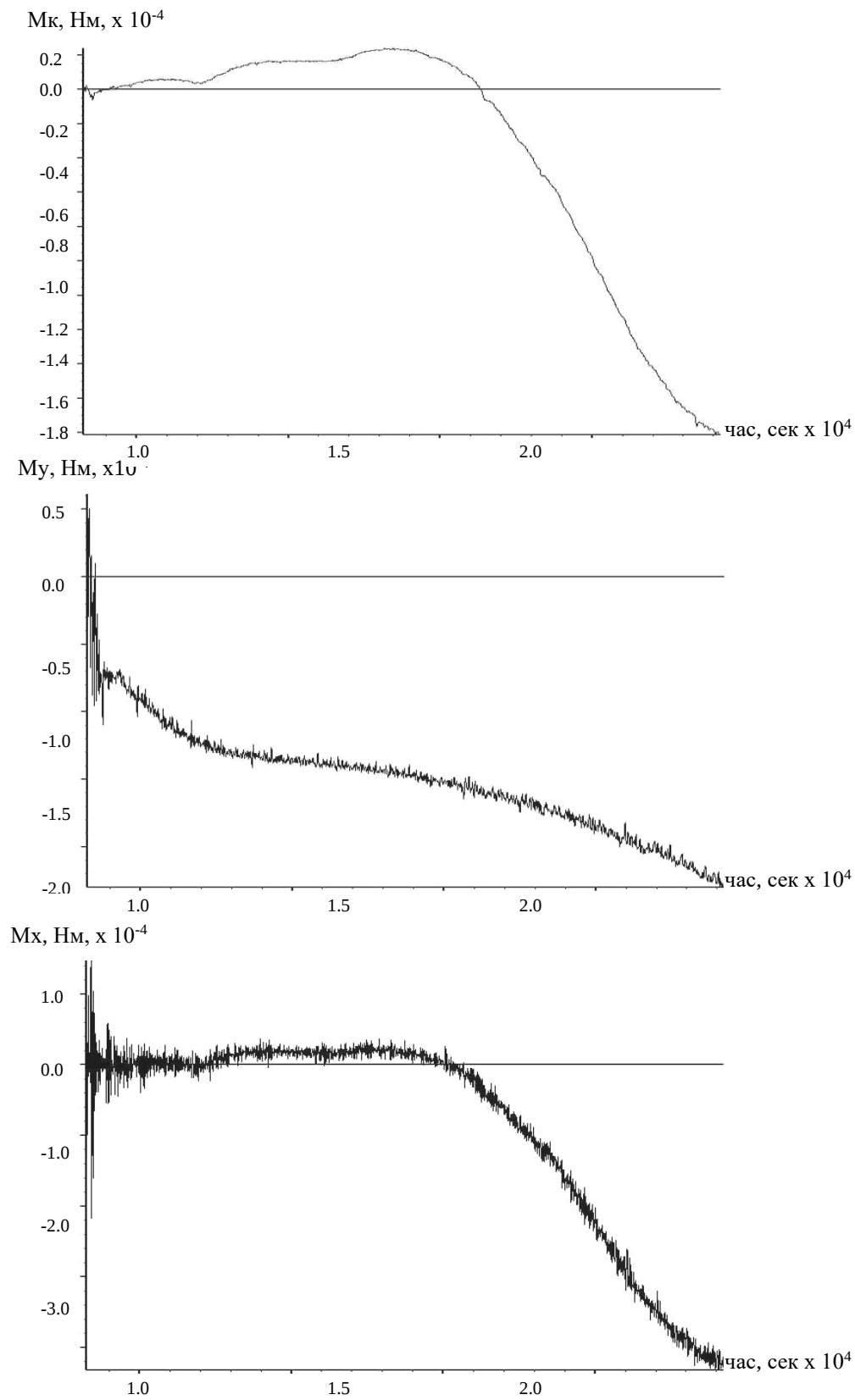


Рисунок 3.14. - Характер зміни крутного M_x і згинальних моментів M_y і M_k в рамному сегменті в замку полатливості на Розклинювання рам дерев'яними клинами не дає принципового

вирішення проблеми обмеження третьої степені вільності. Як показує практика експлуатації рам при використанні замків підвищеного опору, рами вивертаються з площини перерізу виробки незважаючи на розклинювання, що призводить до косого вигину профілю. Саме тому, як показано в огляді, японські технологи використовують набагато більшу кількість потужних міжрамних стяжок, а експлуатаційники вугільних шахт Німеччини здійснюють тампонаж закріпного простору.

Друга особливість пов'язана з тим, що профіль будь-якого рамного кріплення спроектований так, щоб його момент інерції a , отже, і опору був максимальним щодо так званої головної нейтральної осі, яка при установці рами завжди збігається з віссю виробки. Головна вісь у даному випадку є віссю U на всіх розрахункових схемах, використаних в даній роботі. Передбачається, що рама буде деформуватися строго в своїй площині або іншими словами в площині поперечного перерізу підготовчої виробки. Якщо це так, тоді згинальний момент буде діяти щодо головної осі, проектна орієнтація якої вказана на фрагменті (а) рис. 3.15. При відхиленні напрямку вигину (кажуть, що такий вигин є косим), момент інерції профілю зменшується, оскільки профіль не проектувався для максимального опору вигину в такому напрямку (див. Рис. 3.15, б).

В процесі поздовжнього скручування профілю рамного кріплення відбувається поворот осі, щодо якої відбувається вигин. Це в деякій мірі зменшує момент опору профілю нормальним зусиллям F_z . Процес спільного вигину і поздовжнього скручування профілю рамних кріплень по суті описується більш складним механізмом стиснутого крутіння тонкостінних криволінійних стрижнів, який вимагає додаткових обчислень секторіальних характеристик перетину і обліку додаткових напружень, обумовлених згинально-скручуючими бімоментами [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Однак натурні обстеження рамних кріплень показали, що реальний процес деформації профілю рамних кріплень ще складніше.

Головною особливістю є те, що поздовжнє скручування профілю

неминуче породжує розкриття профілю, відгинання однієї з його полиць (див. Рис. 2.17).

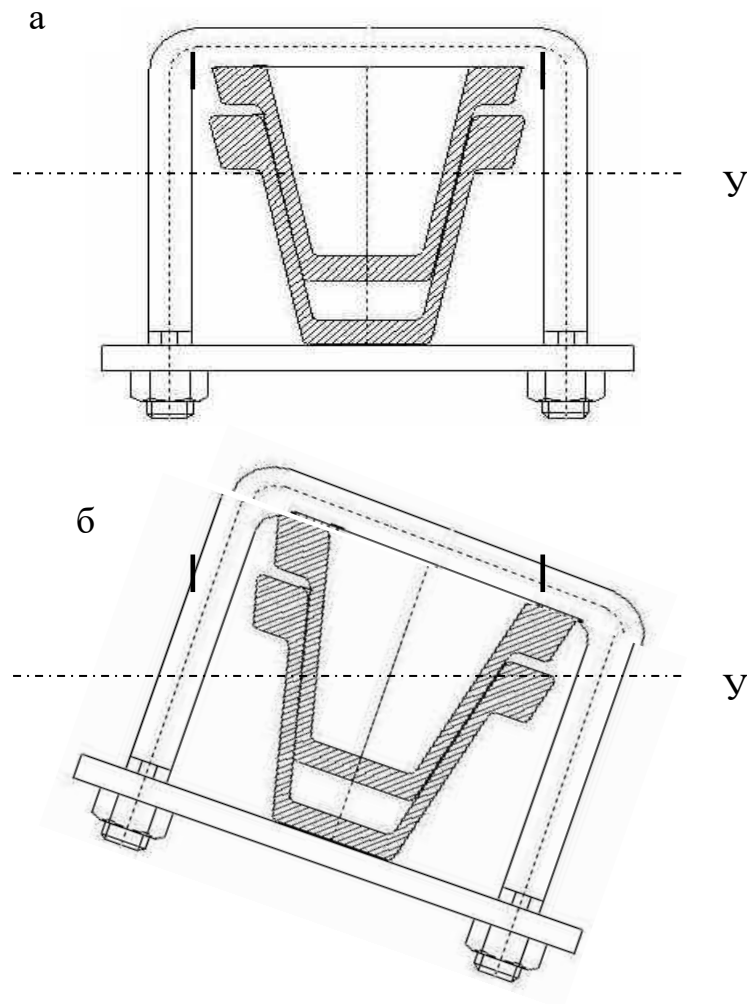


Рисунок 3.15. - Вигин профілю під різним кутом відносно
головної осі поперечного перерізу

У результаті форма профілю змінюється від коритоподібної в сторону плоскої, що різко зменшує момент інерції профілю і як наслідок момент опору вигину.

На рис. 3.16 наведено характер зміни моменту інерції при відхиленні нейтральної осі від нормативного напрямку і відгині однієї з полиць спецпрофіля на 45 градусів. Як видно, навіть при відхиленні головної осі на 10^0 , момент інерції зменшується на 20%, що має велике значення. Отриманий

емпірично закон зміни моменту інерції описується зворотною експоненціальною залежністю з показником тісноти зв'язку 0,94:

Таким чином третя найважливіша обставина полягає в тому, що згідно з варіаційним принципом механіки профіль кріплення завжди буде вибирати таку форму деформації, яка буде відповідати мінімуму потенційної енергії деформованої рами. Очевидно, що досить незначної випадкової причини або механічної флуктуації для того, щоб рама пішла з положення нестійкої рівноваги в бік більш стійкого стану. При цьому чим довше периметр рами по відношенню до поперечного розміру профілю, з якого вона виготовлена, тим більша ймовірність того, що буде виникати поздовжнє скручування. Саме цим пояснюється зростання числа скручувань рами зі збільшенням площі перерізу виробки.

На початковому етапі деформування рама перебирає безліч випадкових станів, які не сильно відрізняються один від одного, оскільки поблизу положення нестійкої рівноваги всі ці стани приблизно однаково мало відрізняються від нерівноважного, коли потенційна енергія деформації максимальна. Цим пояснюється випадковий хаотичний характер зміни крутного і згинальних моментів в рамі на початковому етапі її навантаження. Однак у міру збільшення кута повороту головної осі (або що те ж саме - кута поздовжнього скручування профілю рамного кріплення) потенційна енергія змінюється все більш істотно, що узгоджується з графіком зменшення моменту інерції на рис. 3.16. Процес входу в стабільну форму деформування відбивається графіками на рис. 3.14, які показують, як злагоджено і лавиноподібно зростають всі моменти, що діють на сегмент рами.

Роль процесу скручування таким чином багатопланова. По-перше поздовжнє скручування дозволяє рамі використовувати додаткову степінь вільності, за допомогою якої вона знаходить шлях навантаження, який відповідає мінімуму потенційної енергії своєї деформації.

По-друге поздовжнє скручування зменшує момент інерції профілю щодо головної осі і дає можливість замінити найбільший з можливих

нормальний поперечний вигин профілю на косий, діючий момент якого завжди буде менше.

По-третє поздовжнє скручування супроводжується розгинанням коритоподібного профілю рами, що сприяє подальшому зменшенню моменту опору згинаючих навантажень.

Таким чином встановлена роль поздовжнього скручування профілю рами, яка відкриває можливість використовувати додатковий степінь вільності і зменшує момент інерції перерізу профілю. Обидва ці фактори сприяють зменшенню потенційної енергії деформації профілю і готують його до пластичного вигину. Важливо при цьому мати на увазі, що сам пластичний вигин виконується поперечними згинальними моментами, при цьому вигин необов'язково відбувається у площині рами, а приблизно у половині випадків є косим по відношенню до осі виробки.

Можна припустити, що рамно-анкерні кріплення повинні проявляти особливості при деформації, що і буде досліджено далі.

РОЗДІЛ 4

ОБГРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ РАМНО-АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ СТІЙКІСТЬ РАМ І ЗБЕРІГАЄ ЇХ НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ

4.1. Загальні положення

Виконані дослідження дозволили встановити особливості механізму опору рамно-анкерних кріплень гірського тиску. Показано, що важливу роль в передчасній втраті стійкості і несучої здатності рами виконує поздовжнє скручування спецпрофіля рамного кріплення, ймовірність якого підвищується зі збільшенням поперечного перерізу виробки. Поздовжнє скручування спецпрофіля призводить до прискорення згинальних моментів, які здійснюють пластичний косий вигин спецпрофіля рамного кріплення. Настання пластичного вигину прискорює процес розгинання профілю, при якому його перетин з коритоподібного перетворюється в плоский.

Установка анкерів окремо від рамних кріплень лише збільшує середню міцність порід покрівлі виробки і не змінює механізм її деформування й руйнування **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**. Приєднання анкерів до рамних кріплень дозволяє зменшити півхвилю діючих згинаючих моментів в рамі і саму величину моментів на 30%, а також забезпечити цілісність контакту анкера з навколишнім масивом порід, що зберігає його несучу здатність при інтенсивних зсувах порід покрівлі (понад 500мм) і зменшує величину зсувів в 2,33 рази.

Зі сказаного випливає особлива роль поздовжнього скручування профілю рамного кріплення, оскільки процес втрати його стійкості починається саме з виникнення крутного моменту. Це дає можливість обґрунтувати ідею нової конструкції вузла з'єднання рами з анкерами. Конструкція повинна забезпечити зменшення поздовжнього скручування, або повністю виключити цей негативний ефект. Для цього необхідно виконати

конструкцію вузла таким чином, щоб при виникненні скручуючих моментів в профілі автоматично створювалися протимоменти, які б нейтралізували небезпечні негативні силові фактори.

На підставі цієї ідеї сконструйований новий вузол з'єднання рами з анкерами.

4.2. Розробка конструкції рамно-анкерного кріплення спільного опору

Конструкція вузла з'єднання рами з анкерами за допомогою фігурної планки приведена на рис. 4.1 [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Фігурна планка може бути встановлена як на одиночному сегменті рами, так і на з'єднанні суміжних сегментів рамного кріплення аналогічно тому, як вказується в роботі [5]. На рис. 4.1 пояснюється конструкція вузла з'єднання, яка побудована на основі профілю аркового кріплення. Вузол з'єднання складається з рами 1, на яку одягнена фігурна планка 2, фігурна планка має Г-подібну форму з зацепом 3 на одному кінці і отвором під анкер 4 на іншому. Зачіп 3 виконаний так, щоб без утруднень одягався на фланець 5 тильної сторони профілю СВП, а сторона з отвором під анкер фігурної планки щільно прилягала до полиці 6 профілю таким чином щоб фігурна планка щільно обіймала профіль. Для спільної роботи фігурної планки і профілю в породі буриться шпур під анкер 7 поруч якомога ближче до профілю СВП, потім напроти шпуру зачіпається фігурна планка так щоб центр отвору в планці і центр шпуру знаходилися на одній осі що полегшить постановку анкера. Після установки анкера в шпур через планку на анкер накручується гайка яка щільно підтискається до фігурної планки і притискає планку до полиці профілю. Шпури слід вибурювати по обидві сторони профілю СВП розставляючи їх в шаховому порядку щодо поздовжньої осі профілю. Це під час експлуатації виробки дасть максимальний ефект стійкості при поздовжньому скручуванні.

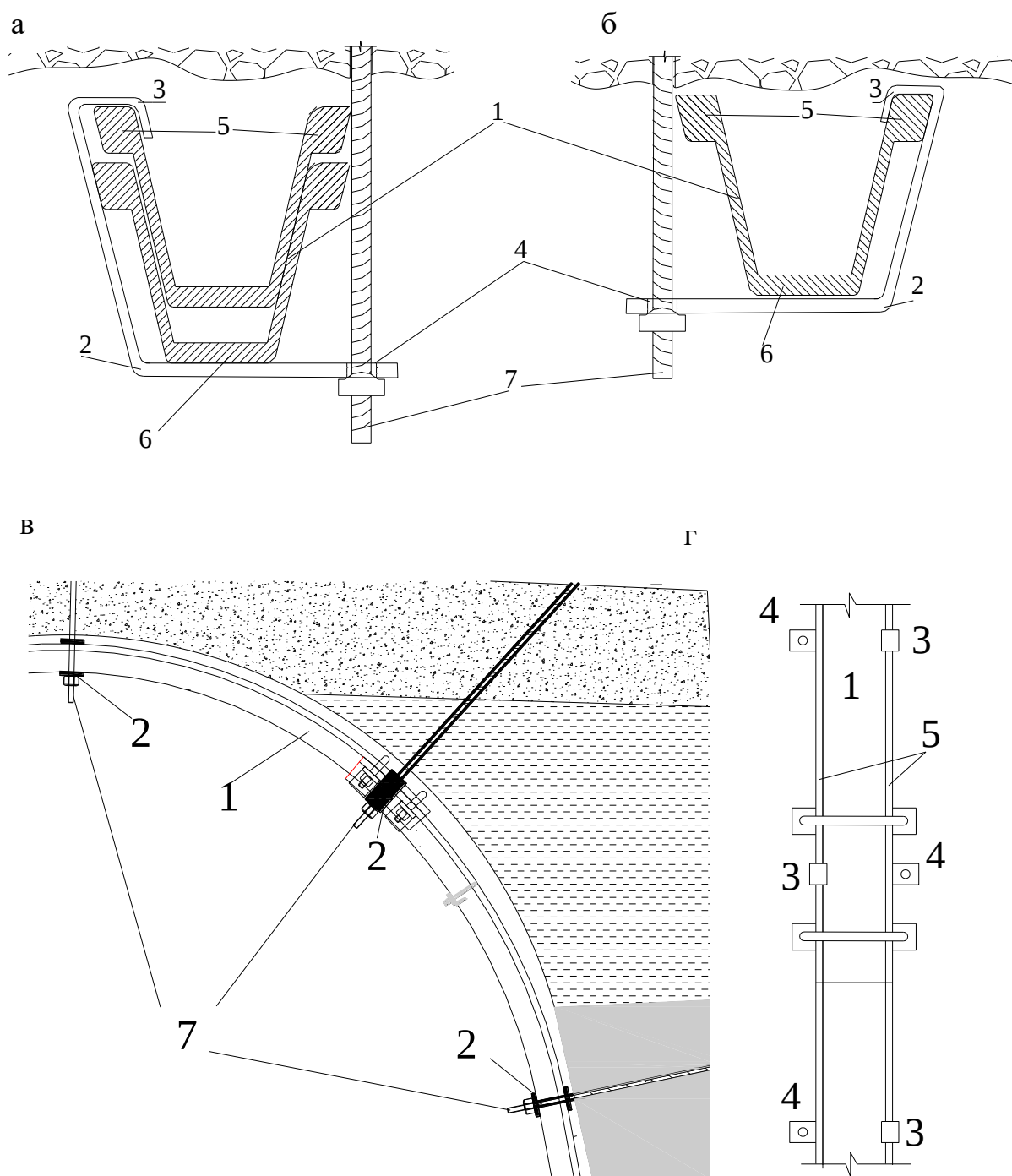


Рисунок 4.1 - Конструкція вузла з'єднання рами з анкерами за допомогою фігурної планки

Після зведення рами бурять шпури під отвори в планці, потім одягають фігурну планку і встановлюють в спеціальний отвір у планці сталеполімерний

анкер. При цьому технологія установки анкерів застосовується стандартна. Шайби на такі анкери не потрібні, оскільки роль шайб виконують фігурні планки.

У зв'язку з тим, що в даній роботі доведена негативна роль поздовжнього скручування профілю, нова конструкція повинна передбачити нейтралізацію цього небажаного ефекту. Для запобігання можливості поздовжнього скручування спецпрофіля рамних кріплень фігурні планки встановлюють в шаховому порядку як показано на фрагменті рис. 4.1,г. При цьому протидіючі моменти генеруються тільки в тому випадку, коли виникає активне поздовжнє скручування.

Вузол з'єднання рамного кріплення з анкерами працює наступним чином. В процесі активного впливу гірського тиску відбувається деформація порід навколо підготовчої виробки і починаються їх зміщення в її порожнину. Однак цим зсувам активно протидіють анкери, підперті рамами. Рама має опорну площу, яка на порядки перевищує площу шайби. Тому породи не мають можливості обігравати анкер і розущільнюватись на ділянці його хвостовика. Саме ця область є найбільш критичною з точки зору збереження площі перерізу виробки. Таким чином анкери опираються силам гірського тиску при активній підтримці рамних кріплень.

Важливою перевагою конструкції є те, що фігурна планка, яка встановлена в місці нахлестки суміжних сегментів рамного кріплення не заважає здійсненню взаємного проковзування сегментів кріплення в вузлах податливості. Це забезпечує працездатність конструкції і має вирішальне значення для забезпечення ефективності кріплення виробки в цілому.

У свою чергу можливість рам скручуватися практично відсутня завдяки підстраховуючим моментам, які виникають у вузлах з'єднання завдяки шаховому розташуванню суміжних фігурних планок. Крім того, згинальні моменти в рамних кріпленнях зменшуються на третину завдяки тому, що тепер півхвиля моментів обмежена кроком установки анкерів. У більшості випадків анкери встановлюють на відстані 0,8-1,0м, що у кілька разів менше

середньої величини півхвиль згинальних моментів, які виникають в профілі вільної рами (дивись розділ 2).

На закінчення відзначимо, що установка анкерів після складання рамного кріплення гарантує його працездатність на відміну від конструкцій, які передбачали збірку рами після установки анкерів. Зазначені особливості конструкції вузла з'єднання анкерів з рамою кріплення реалізують наукові результати досліджень. Розроблена конструкція дає можливість зберегти стійкість рамного кріплення і збільшити його несучу спроможність, завдяки чому зменшуються зміщення покрівлі підготовчої виробки.

4.3. Промислова перевірка розробленої конструкції рамно-анкерного кріплення спільного опору

Промислова перевірка ефективності модифікованого рамно-анкерного кріплення, що має вузли з'єднання анкерів з рамами податливого кріплення здійснювалася в першому північному конвеєрному штреку блоку 10

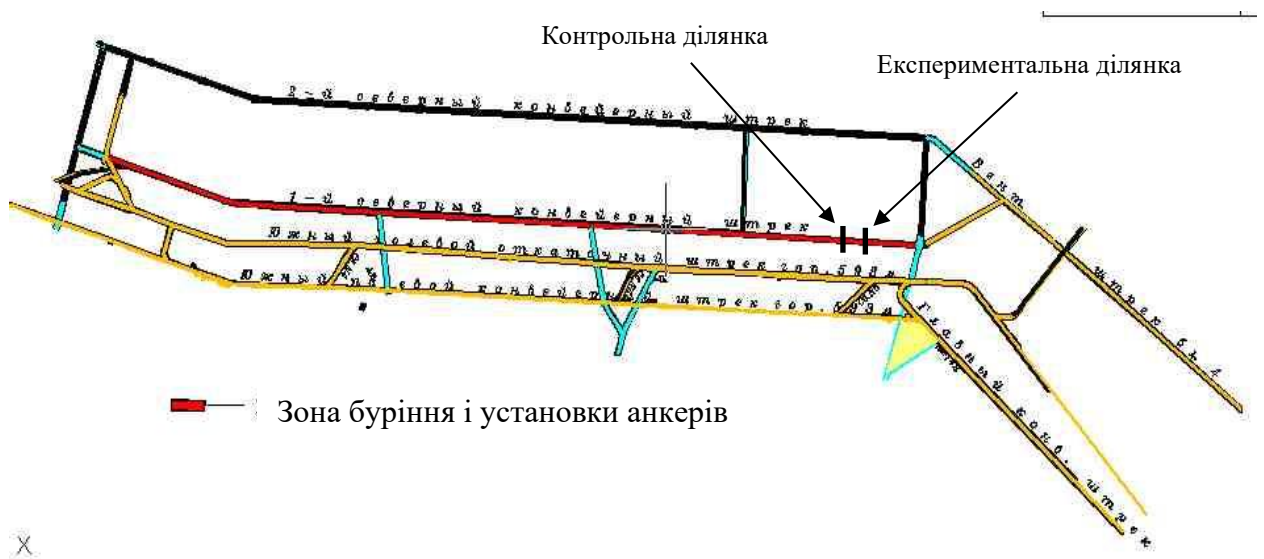


Рисунок 4.2. - Фрагмент плану гірничих виробок в околиці 1 північної лави блоку 10

ШУ«Покровське » [Помилка! Джерело посилання не знайдено.] (рис.4.2). Площа перерізу виробки становить 15 м².

Рамне трьох-ланкове кріплення з спецпрофіля СВПЗЗ виробки встановлене через крок кріплення 0,67м. Затягування залізобетонне. Через наявність вологи у вентиляційному струмені і незначне виділення води з покрівлі виробки після її проходки металеве кріплення прийшло з часом у непридатність і було замінено новим кріпленням перед пуском першої північної лави в роботу.

З покрівлі в процесі демонтажу старих комплектів кріплення відбувалося висипання зруйнованих порід, що в сукупності збільшило площу перерізу виробки до 18м². Згідно з паспортом в одному ряду (точніше у проміжку між сусідніми рамами) встановлювалося 9 анкерів. Сім анкерів встановлювали між рамами з метою посилення порід покрівлі виробки (рис. 4.3, а, переріз 1-1 дивись рис.4.4.). Також два анкери (номера 8 і 9) встановлювали під кінець арочного верхняка з боку лави для його підхоплення в момент проходу лави і забезпечення можливості зняття ніжки з боку чинного очисного вибою. Така схема кріплення зарекомендувала себе успішно в ш/у «Покровське» при відпрацюванні лав і підтримці виїмкових виробок позаду лави для забезпечення прямоточного провітрювання, що дає можливість знизити обмеження навантаження на очисний вибій за газовим фактором.

В результаті модифікації конструкції вузла з'єднання підхватних анкерів вдалося отримати універсальний вузол з'єднання анкера з рамою піддатливого кріплення, який дав можливість не тільки позбутися від підхватних анкерів, але і з'єднати п'ять анкерів по периметру покрівельної частини арки без збільшення витрати металу. На рис. 4.3, б показаний модифікований паспорт кріплення виробки з використанням вузла з'єднання анкерів з рамою. При цьому анкери 1,2,4,6 і 7 пов'язані з рамою, а анкери 3 і 5 встановлюються між рамами для посилення порід покрівлі у верхній частині виробки.

На рис. 4.4 показані схеми розташування анкерів у плані (вид зверху) на контрольній (а) і експериментальній (б) ділянках. Видно, що на експериментальній ділянці анкерів менше (див. Також рис. 4.3,б), причому

вони встановлені в шаховому порядку (зліва і праворуч від рам). Пов'язані з рамами анкери вказані кружками з рисками.

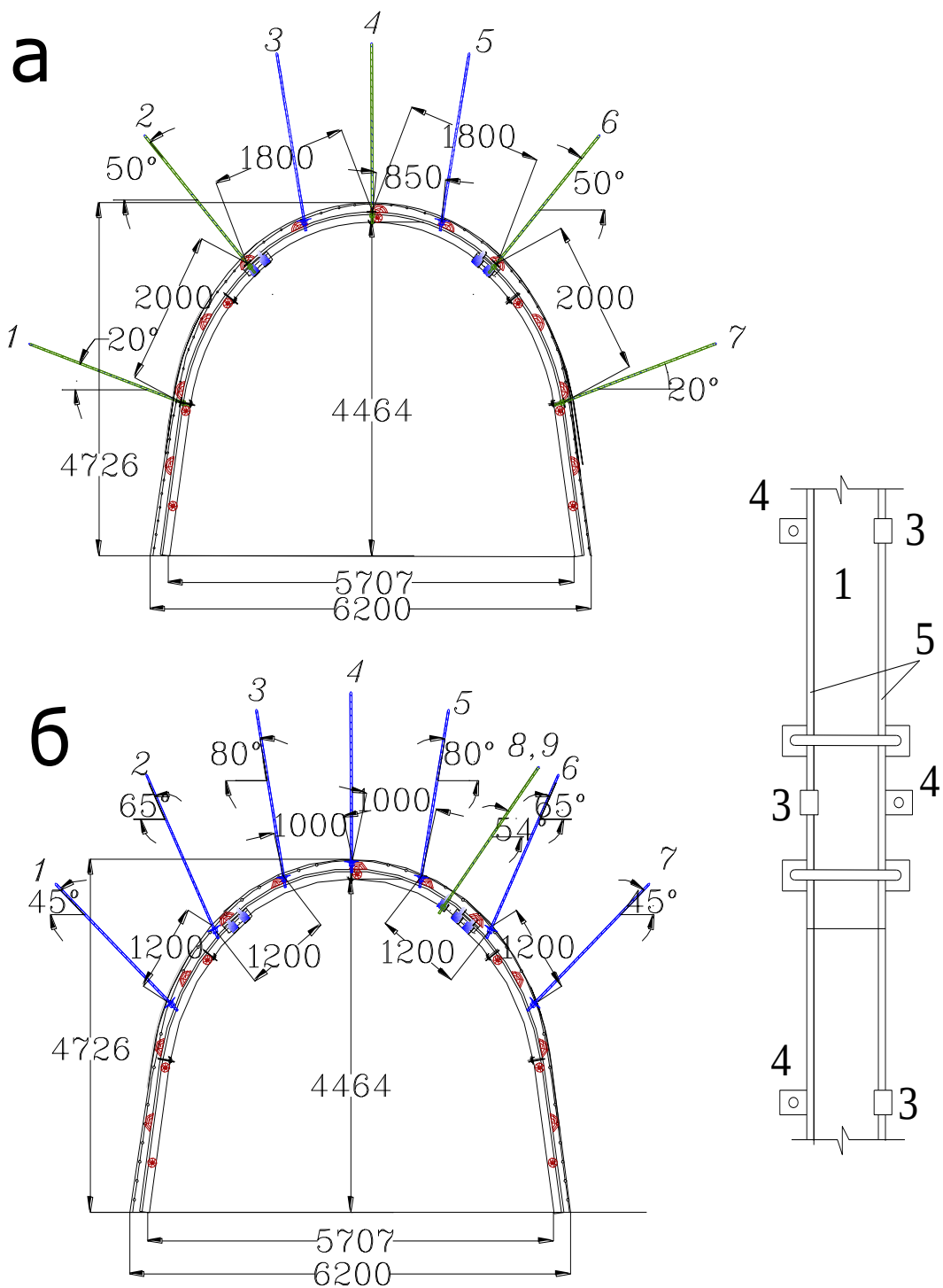
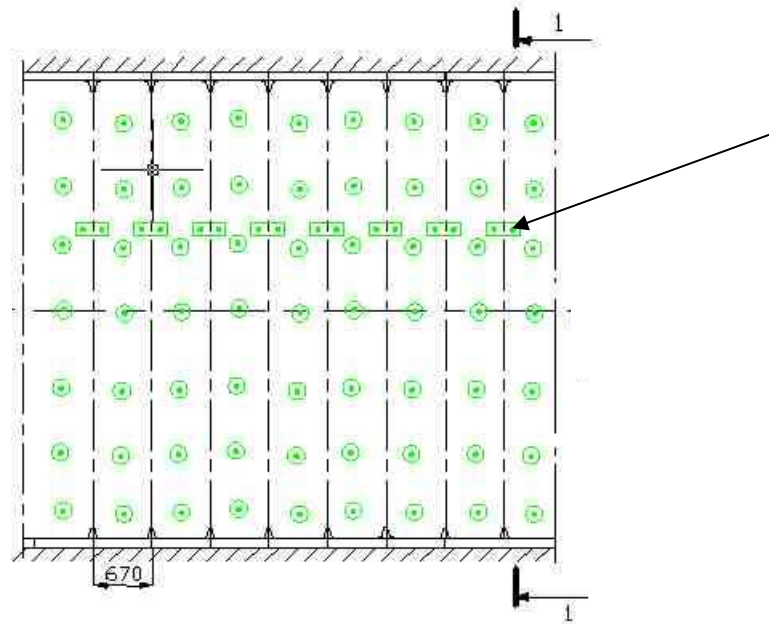


Рисунок 4.3. - Паспорт кріплення першого північного конвеєрного
штреку (б)- стандартний; (а)- модифікований з використанням вузлів
з'єднання анкерів з рамою податливого кріплення.

А



Б

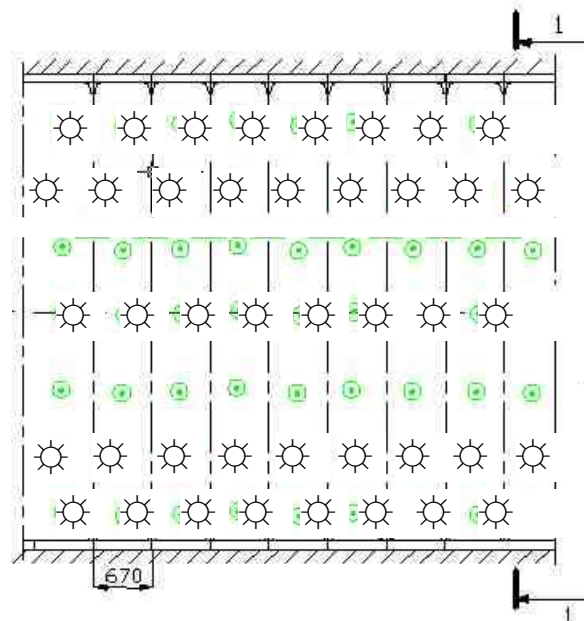


Рисунок 4.4. - Схема розміщення анкерів в плані (вид зверху): (а) при стандартному паспорті кріплення і при використанні вузлів з'єднання анкерів з рамами (б)

Два ряди анкерів, встановлених окремо від рам вказані кружками з точками. Як бачимо, підхватні анкери (показані стрілкою на фрагменті *а*) на експериментальній ділянці відсутні. Іншими словами на цій ділянці число

анкерів зменшено на два і тепер в кожному ряду їх по сім штук замість дев'яти на решті протяжності виробки. Довжина експериментальної ділянки становить 23м. Вузлами зв'язку анкерів з рамами забезпечено 34 комплекти кріплень, що гарантує представництво результатів дослідної перевірки, так як протяжність експериментальної ділянки більш ніж у п'ять разів перевищує ширину виробки. Це означає, що результати випробування на такій протяжності еквівалентні результатам випробувань на будь-який великій довжині виробки за однакових гірничо-геологічних умов.

Конвеєрний штрек підтримували позаду лави для забезпечення прямої схеми провітрювання **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**. Це дозволило випробувати нову конструкцію у типових складних гірничо-технічних умовах, коли виробка потрапляє в зону динамічного опорного тиску, а потім в зону активних зрушень **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.,Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**. Виробку позаду лави охороняли литою смугою з БІ-кріплення **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**.

Обстеження експериментальної ділянки показало, що вузли зв'язку анкерів з рамами повсюдно працюють задовільно. Так типовий стан зв'язків анкерів з рамою нової конструкції наведено на знімках рис. 4.5.

Обстеження показало, що анкери працюють з повним навантаженням незалежно від того, чи була нагвинчена гайка на хвостовик анкера чи ні.

За такої умови вузол залишається як би на місці, точніше в просторі він може переміщатися тільки за хвостовиком анкера, який зміщується при руйнуванні синхронно з породами. Зсув щодо вузла здійснюють тільки сегменти кріплення. У процесі піддатливості рамного кріплення у зоні активних зрушень в результаті взаємного проковзування сегментів кріплення замок податливості не може зміщуватися щодо точки закріплення анкера.

В цілому слід зазначити, що кріплення на експериментальній ділянці зберігає цілісність, замки податливості працюють в штатному режимі, а

спецпрофіль рамних кріплень зберігає вихідну форму. Цього не можна сказати про контрольну ділянку. Близько половини рам на контрольній ділянці втратило свою стійкість через поздовжнє скручування спецпрофіля і його поперечного пластичного вигину.



Рисунок 4.5. - Знімки нової конструкції вузлів з'єднання

У таблиці 4.1 наведені результати статистичної обробки даних вимірювань.

Як бачимо, зближення бічних стінок виробки на контрольній ділянці склали не більше 650 ± 130 мм, тоді як на експериментальному 383 ± 55 мм.

Це означає, що деформація перерізу виробки в горизонтальному напрямку на експериментальній ділянці зменшилася більш ніж в 1,7 рази у порівнянні з контрольною ділянкою. Порівняння величин зближення покрівлі і ґрунту не так наочно, проте не дивлячись на це різниця величин зсувів також на користь експериментальній ділянці, де вона в 1,1 рази менше, ніж на контрольній.

Таблиця 4.1. Результати статистичної обробки даних вимірювань зрушень порід на контурі експериментальної виробки.

Ділянка	Зближення боків, мм	Зближення підшви та покрівлі, мм	Стандартне відхилення, мм
Контрольна(ПК139)	650±130	760±130	130
Експериментальна (ПК143)	383±55	710±55	55
Різниця, разів	1,7	1,1	

На рис. 4.6, а наведено характерні приклади поздовжнього скручування арочного верхняка на контрольній ділянці виробки, а на рис. 4.6, б стояків кріплення. Осьове скручування стійок спостерігається з боку діючої лави. З боку незайманого масиву відбувається сильне згинання стояків кріплення, у результаті чого розкривається профіль. При цьому полки профілю розходяться, а його коритоподібна форма вирівнюється в сторону плоскої. Як осьове скручування профілю, так і його розкриття призводить до різкого (в кілька разів) падіння моменту опору вигину, в результаті чого сегменти кріплення згинаються і втрачають свою несучу здатність. У покрівлі виробки з боку діючої лави рами в результаті прогину профілю змінили опуклу форму на увігнуту. Цей негативний механічний ефект породжує небезпечний геомеханічний, який складається в тому, що в покрівлі виробки утворюється звід обвалення, який сприяє розвитку тиску на ослаблене кріплення. Така взаємодія механічного та геомеханічного ефектів призводить до їх взаємного посилення і різкого зменшення перерізу виробки у просвіті.

Після закінчення експерименту були обстежені характерний стан перерізу виробки на контрольній ділянці і експериментальній. Стан рам на експериментальній ділянці помітно краще. Так рами працюють в податливому режимі і зберігають цілісність профілю кріплення

а



б



Рисунок 4.6. - Скручування профілю верхняка й стояків на контрольній ділянці

У замках зміщення суміжних сегментів один відносно одного досягає 1,2-1,5м. При цьому не відзначені розриви скоб, або планок в замках податливості, що підтверджує керований процес податливості рамних кріплень.

На контрольній ділянці спостерігається прогин верхняків рам, а також виштовхування підхватних спарених анкерів з масиву, що підтверджує їх низьку ефективність. Близько 42% замків податливості зруйновані за рахунок розриву скоб або планок. Рами, сегменти яких зазнали пластичний вигин не придатні для подальшого використання і не несуть навантаження, що видно на рис. 4.6.

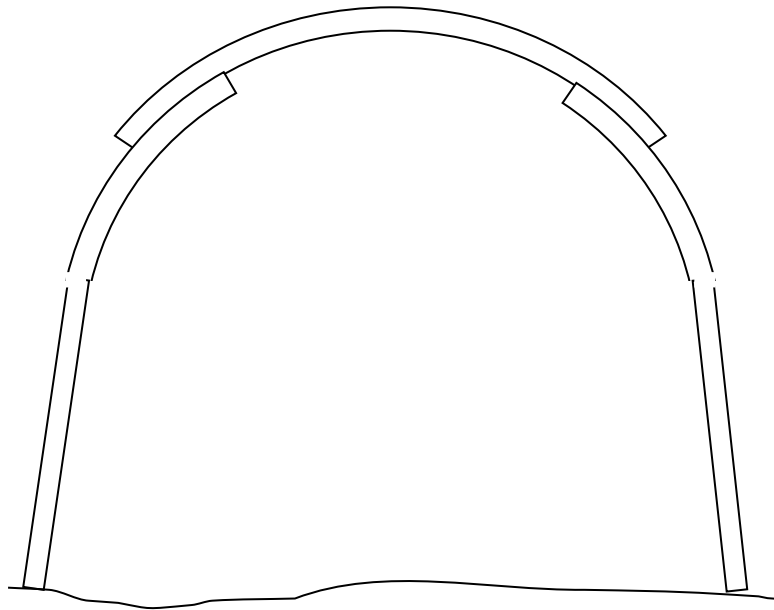
Застосування вузлів з'єднання анкерів з рамним кріпленням забезпечує ще одну технічну перевагу. Вона є наслідком збільшення податливості рамного металевих кріплення. Вузли сприяють керованій податливості рами в місцях нахлестки суміжних сегментів. У міру збільшення податливості периметр рами стає менше, а сама рама товстіше завдяки розширенню ділянок нахлестки сегментів (рис. 4.7). Ці два процеси прискореними темпами (тобто непропорційно зростанню нахлестки) збільшують несучу здатність рамного кріплення, що стабілізує її стійкість.

Такий надефект обумовлений тим, що відповідно до графіків рис. 2.27, 2.28 збільшується несуча здатність рами, тому що розмір виробки зменшується і одночасно з цим в два рази збільшується сумарна товщина профілю на зростаючих ділянках нахлестки, наслідком чого стане підвищення моменту опору цих ділянок вигину і скручуванню.

Поряд з вузлом з'єднання, який запропонований автором даної дисертації здійснювалась промислова перевірка інших конструкцій, що були раніше відомі. Перш за все в ш/у «Покровське» використовують безкінечні нитки поздовжніх підхватів із спецпрофілю СВП33, які підвішуються до покрівлі виробок за допомогою канатних анкерів. Такі конструкції дозволяють

рамам й канатам теж ініціювати спільний опір гірському тискові. Проте практика засвідчила, що така конструкція має певні недоліки.

а



б

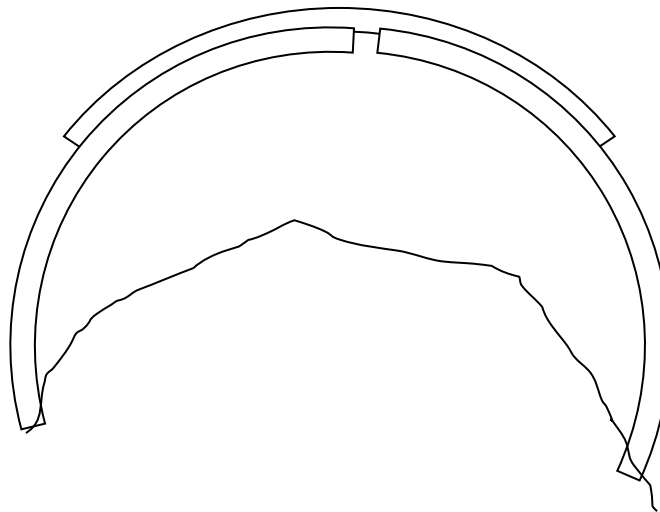


Рисунок 4.7. - Ілюстрація позитивного ефекту застосування комбінованого кріплення спільного опору унаслідок зменшення периметра рамного кріплення

Перш за все вона металоємна, оскільки при трьох нитках підхватів витрачається понад 99 тон металу на один погонний кілометр виробки. До того у момент установки поздовжні підхвати торкаються лише деяких рамних верхняків, що максимально виступають у порожнину виробки. Нитки

підхватів формуються з відрізків СПВ33 довжиною 4м, а відстань між суміжними рамами зазвичай становить 0,5-0,8м. Отже кращі рами, верхняки яких знаходяться вище середнього рівня підхватів деякий час опираються гірському тискові самостійно, поки не торкнуться їх. Це знижує ефективність такої конструкції.

До того ж підхвати не протидіють поздовжньому скручуванню спецпрофілю, що також знижує ефективність рамно-анкерного кріплення сумісного опору.

Випробувалась також відома конструкція вузлів з'єднання рам з анкерами, яка базується на консольній планці, що одягається на скоби замків піддатливості та міражних стяжок (Патент України № 85376). Анкери після збірки замків встановлюються через отвори у консолях планок. Випробування засвідчили, що ефективність таких вузлів з'єднання рам з анкерами аналогічна тій, яка досягається за допомогою фігурних планок. Перевагою вузла, що розроблений автором даної дисертації полягає у тому, що він може бути встановлений у будь-якому місці уздовж периметра рами. Отже кожна з конструкцій має свою раціональну область застосування й доповнює одна одну.

4.4. Техніко-економічна оцінка ефективності нової конструкції рамно-анкерного кріплення спільного опору

Позитивні технічні ефекти нового з'єднання підтверджуються актом випробувань від 2019 року (Додаток А) і полягають в наступному.

1. Кількість анкерів, що застосовуються для підтримки верхняка кріплення зменшується удвічі. При кроці установки рам 0,65м на кілометр виїмкових виробок економиться 3076 анкерів довжиною по 2,9м, 12304 ампул А28/600 з полімерною смолою. Крім того, відповідно у стільки ж зменшується кількість шпурів під зазначені анкери, знижується витрата електроенергії, а також знос коронок і турбоболтеров, підвищується продуктивність робітників

і ефективність їх праці.

2. Збільшується ефективність використання робочої довжини анкера до максимально можливої при установці анкера після обтиску рамного кріплення і на 30-40см при установці анкерів в прохідницькому вибої. Це підвищує несучу здатність анкерів і ефективність засобів, вкладених в анкерне кріплення.

3. Анкери, встановлені в отвори фігурних та консольних планок, перешкоджають поздовжньому скручуванню профіля кріплення в зоні активних зрушень. На експериментальній ділянці скручування відсутнє, тоді як рами на контрольній ділянці відчують скручування, що істотно знижує їх несучу здатність.

4. Анкери, встановлені в отвір фігурних та консольних планок, перешкоджають несиметричній податливості замків, покращуючи режим роботи рамного кріплення, усуваючи перекоси податливості і злами вузлів піддатливості, зберігаючи тим самим його несучу здатність.

5. Крок установки анкерів строго відповідає паспорту кріплення завдяки фіксації фігурних та консольних планок та буріння шпурів через отвори в цих планках як через приціли. Це збільшує точність дотримання параметрів паспорта кріплення виробки рамно-анкерним кріпленням.

6. Завдяки зменшенню периметра рами внаслідок підвищення податливості на ділянках нахлестки сегментів збільшується несуча здатність рами і момент опору вигину і крученню.

7. Аналіз стану експериментальної ділянки показав, що міжрамні стяжки не потрібні, оскільки анкери, які з'єднані з рамами утримують їх надійніше і перешкоджають зсуву рами в будь-якому (в тому числі і уздовж виробки) напрямку. Це дає можливість заощадити три кілометри стяжок на кілометр довжини виробки.

8. Маса металу на додавання фігурних та консольних планок не збільшує масу рамно-анкерного кріплення в цілому, так як планки замінюють шайби, причому маса планок дещо менше маси шайб. Крім того, відходи від

штампування прямокутних планок практично дорівнюють нулю, тоді як відходи від виготовлення круглих шайб досить значні, що підвищує їх вартість.

Економія складається з декількох компонент. Зменшення витрат на матеріали (анкери, ампули, різці і стяжки), економія на заробітній платі за рахунок усунення необхідності проведення робіт з буріння шпурів і установці анкерів, економія від зниження непродуктивного зносу бурильних установок і економія на електроенергії.

Докладний розрахунок економічного ефекту наводиться в додатку Б. У таблиці 1 наведено зведені результати розрахунку. Сумарний економічний ефект від використання нового вузла зв'язку сталеполімерних анкерів з рамою в цінах 2019 року становить 634,2 тис. гривень з урахуванням економії на міжрамних стяжках і 452,42 тис. гривень без урахування економії на стяжках.

Таблиця 4.2. Зведені дані розрахунку економії на прикладу 1-го північного конвеєрного штреку блоку 11 ш/у Покровське

Матеріали		Заробітна плата			Річний ефект
Базовий	Новий	Базовий	Новий	Різниця, гривень на п м	
556,35	241,23	5,75	3,77	317,1	634200
515,46	241,23	5,75	3,77	276,21	452420

Крім того, не враховано непрямий ефект, пов'язаний з можливістю підвищення навантаження на лаву завдяки збереженню перерізу виробки. На підставі вимірюваних розмірів перерізу виробки експериментальної відновлена величина її перерізу у світлі. При початковій величині площі перерізу виробки 15 м^2 площа перерізу штреку на контрольній ділянці зменшилася до 8 м^2 , а на експериментальній до $8,8\text{ м}^2$. В умовах обмеження навантаження на лаву по газовому фактору різниця перерізу $0,8\text{ м}^2$ дає можливість подати на $65\text{ м}^3/\text{хв}$ більше повітря в лаву і отримати збільшення видобутку на 20%. При цьому завдяки збереженню кріплення виробки її стійкість під час повторного використання буде вище, що має велике значення

для забезпечення надійності другої лави.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішена науково - практична задача підвищення стійкості і несучої здатності рамно-анкерного кріплення за рахунок використання принципу спільного опору й нейтралізації поздовжнього скручування спецпрофілю рамного кріплення, що має велике значення для підвищення стійкості підготовчих виробок у зоні інтенсивного гірського тиску. Основні наукові результати цієї роботи полягають в наступному:

1. У процесі зміщення зруйнованих порід і навантаження рамного кріплення в його спецпрофілі генеруються крутильні моменти, а також подовжня і поперечні сили. При цьому розподіл вказаних силових характеристик на початковому етапі має знакозмінний характер уздовж периметру рамного кріплення, а зміна розподілів відбувається хаотично у процесі навантаження.

2. У міру збільшення зрушень на контурі виробки понад 150-200мм відбувається відбір стійких форм деформування рамного профілю, а розподіл поперечних, поздовжніх сил, а також згинальних і крутних моментів стабілізується. У такому положенні кріплення деформується до тих пір, поки не настане руйнування спецпрофілю у вигляді пластичного вигину на критичній ділянці, де відбувається максимальне поздовжнє скручування з градієнтом крутного кута не менш за $10-13^{\circ}$ з відгином однієї або обох полиць його перетину, що призводить до різкого (понад 20%) зменшення моменту опору.

3. Вперше встановлена важлива роль поздовжнього скручування профілю при втраті стійкості рами та її несучої здатності. Воно дозволяє рамі використовувати додаткову степінь вільності, за допомогою якої вона знаходить шлях навантаження, що відповідає мінімуму потенційної енергії деформації. Момент інерції профілю щодо головної осі зменшується згідно

експоненціальній залежності при збільшенні кута поздовжнього скручування профілю, оскільки таке скручування супроводжується розгинанням спецпрофілю рами і сприяє косому вигину, поточний момент якого завжди буде менше у порівнянні з плоским вигином.

4. За умов якісного виконання робіт з кріплення виробки і помірного опорі замків податливості (до 200кН) поздовжнє скручування профілю рамних кріплень настає після вичерпання проектної податливості рами, а в разі неякісного зведення кріплення, заклинювання замків або підвищеного їх опорі (більш 300кН) поздовжнє крутіння починається відразу після обтиску рамного кріплення оточуючими породами. Це означає, що застосування замків підвищеного опорі без спеціальних заходів щодо запобігання поздовжнього скручування профілю рамного кріплення не дає позитивного ефекту.

5. Розподіл кутів поздовжнього скручування профілю рамних кріплень у зоні активного прояву гірського тиску узгоджується з нормальним законом, причому в зоні інтенсивного деформування вміщуючих порід мода кута близька до 20^0 , а діапазон його можливих величин змінюється від 5^0 до 90^0 . Після збільшення кута поздовжнього скручування понад 16^0 відбувається масове руйнування рамного кріплення внаслідок пластичного косого вигину профілю.

6. Градієнт кута поздовжнього скручування профілю рамного кріплення рівномірно розподілений уздовж периметру рам і рідко перевищує $\pm 20^0/\text{м}$ периметра. Це означає, що будь-яка ділянка периметра рами може зруйнуватися від пластичних деформацій косого згину, який слідує за поздовжнім скручуванням профілю. Гістограма градієнта симетрична і узгоджується з нормальним законом розподілу з витягнутим ексцесом, що свідчить про рівноймовірність напрямків поздовжнього скручування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ополони К., Полисос Н., Бартель Р. Люттиг Ф. Техника крепления анкерами на шахтах компании ДСК – теория и практика. *Глюкауф*. 2000. №5. С. 45-52.
2. Теньес Б., Хайнц-Вернер Ф. Штрек с комбинированной крепью на шахте «Эвальд Хуго». *Глюкауф*. 2001. №12. С.28-35.
3. Arthur J. Support of coal mines in the United Kingdom. *Ground control in mining: Proc. 21st Int. Conf. Morgantown: WVU*, 2002. Pp.161-169.
4. Sharpe L., Coggan J. Assessment of roadway performance during retreat longwall extraction at a United Kingdom deep mine. *Ground control in mining: Proc. 27th Int. Conf. Morgantown: WVU*, 2008. Pp.119-128.
5. Bigby D., Reynolds C. Development of the short incapsulation pull test for a revised British standard. *Ground control in mining: Proc. 34th Int. Conf. Morgantown: WVU*, 2015. Pp.313-322.
6. Yang S., Zhang B. Supporting method of the bolted strata in large deformation roadways. *Ground control in mining: Proc. 34th Int. Conf. Morgantown: WVU*, 2015. Pp.376-379.
7. Байсаров Л.В., Ильяшов М.А., Демченко А.И. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок: монография. Днепропетровск: ЧП «Лири ЛТД», 2005. 240 с.
8. Байсаров Л.В. Обґрунтування параметрів і розробка технології комбінованого способу підтримки виробок, що використовуються повторно: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: 05.15.02. Дніпропетровськ, 2004. 20с.
9. Курносое С. А. Влияние жесткости околоштрековых полос на конвергенцию контура выемочного штрека и состояние вмещающего массива / С.А. Курносое, В.В. Задерий, В.И. Пилюгин и др. *Геотехническая механика*. Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2015. Вып. 121. С. 160-171.
10. Analysis of the efficiency of geomechanical model of mine working

based on computational and field studies / V. Fomychov, O. Mamaikin, Y. Demchenko, O. Prykhorchuk, J. Jarosz. *Mining of Mineral Deposits* 2018. №12(4). 46–55.

11. Wojciech Masny, Hongyun Yang. Assessment of Excavation Broken Zone around Gateways under Various Geological Conditions: A Case Study in Sichuan Province, China. *Minerals*. 2016. №6. Pp.72-80.

12. Tan Y.L. Design and construction of entry retaining wall along a gob side under hard roof stratum. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2015. №77. Pp. 115–121.

13. Yu-Yong Jiao. Improvement of the U-shaped steel sets for supporting the roadways in loose thick coal seam. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2013. №60. Pp. 19–25.

14. Wojciech Masny. Utrzymanie chodnika przyścianowego za frontem ściany na dużych głębokościach - analiza przypadku. Maintenance of the gateroad behind the front of the longwall at great depths –case study. *Przegląd górniczy*. 2016. № 72. Pp.48-53.

15. Shulin Fang. In-situ measure to internal stress of shotcrete layer in soft-rock Roadway. *Int J Coal Sci Technol*. 2014. №1(3). Pp.321–328.

16. Закономірності перерозподілу напружень навколо виробки/ А.П.Круковский та ін. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. №4. С.54-60.

17. Отраслевая инструкция по применению рамных и анкерных крепей в подготовительных выработках угольных и сланцевых шахт. М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 1985. 128с.

18. А.с. 622982 СССР, МКИ. Е 21 D 11/14. Рамно-анкерная крепь. №2756745; ; заявл. 10.12.1976; опубл. 20.07.78, Бюл. №33.

19. А.с. 1657646 СССР, МПК Е 21 D 11/14. Комбинированная рамно-анкерная крепь/ №511367; заявл. 16.03.1989; опубл. 23.06.91, Бюл. №23.

20. А.с. 1716148 СССР, МПК Е 21 D 11/14. Комбинированное рамно-анкерное крепление / №523453; заявл. 03.06.1990; опубл. 29.02.92 в бюл. №8.

21. Ключев А.П. Обоснование параметров крепления подготовительных выработок податливой анкерно-рамной крепью в зоне влияния очистных работ: дис. ... канд.техн.наук: 05.15.02/ ДонГТУ. Донецк, 2001. 180с.

22. Касьян Н.Н., Ключев А.П., Костюк И.С. Опыт применения комбинированных крепей в условиях глубоких шахт Донбасса. *Интенсивная и безотходная технология разработки угольных месторождений*: тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции. М.: МГИ, 1989. С.59.

23. Баймдик Ю., Штеттнер М. Буровзрывная проходка пластовых штреков с анкерной крепью. Выявление потенциала повышения производительности. *Глюкауф*. 2008. №2/3. С.18-27.

24. Opolony K., Witthaus H. Re-use of bolted roadways in a cover depth > 1000m. *Ground control in mining: Proc. 21st Int. Conf. Morgantown: WVU*, 2012. Pp.53-57.

25. Brady T., Martin L. Empirical mine design for western underground mines. *Ground control in mining: Proc. 21st Int. Conf. Morgantown: WVU*, 2012. Pp.300-307.

26. Айкхофф Ю. Техника и технология анкерного крепления в системе штрековой крепи. *Глюкауф*. 2008. №2/3. С.28-35.

27. Кольчик Е.И. Геомеханическое обоснование устойчивости выемочных выработок при интенсивной отработке угольных пластов: дис. ... доктора тех. наук: 05.15.02 / Ін-т фіз. гірн. проц. Днепропетровск, 2007. 306 с.