

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Кафедра управління гірничим виробництвом і охорони праці

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) Я.О. Ляшок  
(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 рік

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

магістра  
(освітній ступінь)

на тему «Обґрунтування та вибір організації, технології й механізації  
проведення виїмкових виробок в прохідницькому вибої»

Виконав: студент 2 курсу, групи ОПГм-21  
Спеціальності 184 «Гірництво»

Кирсанов О.Л.

Керівник

зав. кафедри управління гірничим виробництвом і охорони праці, проф.,  
д.е.н., Ляшок Я.О.

Рецензент

Нормоконтроль

ст. викл. кафедри управління гірничим виробництвом і охорони праці,  
Браташ О.О.

*Засвідчую, що у цій роботі немає  
запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.*

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

*ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»*

(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра Управління гірничим виробництвом і охорони праці

Спеціальність 184 Гірництво

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Я.О. Ляшок

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

### ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Кирсанову О.Л.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Обґрунтування та вибір організації, технології й механізації проведення виїмкових виробок в прохідницькому вибої»

Керівник роботи Ляшок Ярослав Олександрович, зав. каф. управління гірничим виробництвом, проф., д.е.н.

затверджена наказом по університету від

2. Термін подання студентом закінченої роботи 15 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) матеріали звіту про переддипломну практику, гірничо-геологічні умови та техніко-економічні параметри шахт: характеристика району розташування шахти; геологія родовища і шахтного поля; характеристика вугільних пластів і порід; границі, розміри шахтного поля і запаси в ньому; загальна характеристика діючої шахти; техніко-економічні показники роботи підприємства за звітний період 2021 року і поточний період 2022 року

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити). СТАН ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ РОЗРОБКИ ВУГІЛЛЯ НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ. ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК В УМОВАХ ВЕЛИКИХ ГЛИБИН. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ОХОРОНИ ТА ПІДТРИМАННЯ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ. ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМУВАННЯ МАСИВУ ТА ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБОК, ЩО ПРОВОДЯТЬСЯ НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ, ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЕЙ З ЕКВІВАЛЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ ПОРІД НАВКОЛО ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИБРАНОВОГО СПОСОБУ ОХОРОНИ ТА ПІДТРИМАННЯ. ВИБІР ПРОХІДНИЦЬКОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК В ПОРОДАХ РІЗНОЇ МІЦНОСТІ

## 5. Консультанти з роботи

| Розділ | Консультант | Підпис, дата      |                     |
|--------|-------------|-------------------|---------------------|
|        |             | Завдання<br>видав | Завдання<br>прийняв |
|        |             |                   |                     |
|        |             |                   |                     |
|        |             |                   |                     |
|        |             |                   |                     |
|        |             |                   |                     |

6. Дата видачі завдання 01 вересня 2022 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| №  | Назва етапів дипломного<br>проекту (роботи)                                                                                                              | Термін<br>виконання<br>етапів<br>проекту<br>(роботи) | Примітки |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------|
| 1. | СТАН ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ РОЗРОБКИ ВУГІЛЛЯ НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ                                                        | <i>вересень</i>                                      |          |
| 2. | ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК В УМОВАХ ВЕЛИКИХ ГЛИБИН                                                                           | <i>вересень</i>                                      |          |
| 3. | АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ОХОРОНИ ТА ПІДТРИМАННЯ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ                                                                  | <i>жовтень</i>                                       |          |
| 4. | ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМУВАННЯ МАСИВУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБОК, ЩО ПРОВОДЯТЬСЯ НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ, ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЕЙ З ЕКВІВАЛЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ | <i>жовтень</i>                                       |          |
| 5. | ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ ПОРІД НАВКОЛО ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ                                                                       | <i>листопад</i>                                      |          |
| 6. | ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИБРАНОГО СПОСОБУ ОХОРОНИ ТА ПІДТРИМАННЯ                                                              | <i>листопад</i>                                      |          |
| 7. | ВИБІР ПРОХІДНИЦЬКОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК В ПОРОДАХ РІЗНОЇ МІЦНОСТІ                                                                          | <i>грудень</i>                                       |          |

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

## **АНОТАЦІЯ**

Кирсанов О.Л. Обґрунтування та вибір організації, технології й механізації проведення виїмкових виробок в прохідницькому вибої.

Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 184 «Гірництво» – ДНВЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2022.

Ефективна та безпечна робота в шахті визначається відмінним станом підготовчих виробок. Зростання глибини розробки, збільшення площі перетину виробок, прискорення очисних робіт призводять до значного погіршення умов проведення виробок та подальшої їх експлуатації.

Для вугільних шахт набуває з кожним роком їх експлуатації актуальність в забезпеченні стійкості підготовчих виробок (швидке поглиблення гірничих робіт, погіршення гірничо-геологічних умов залягання родовища). Доводиться щороку ремонтувати до 40% загальної довжини виробок. 95 % всіх робіт посідає на ремонт виробок, що знаходяться в зоні впливу очисного вибою. Більшість робіт з підтримки виконуються вручну та становлять небезпеку для робочих, ці роботи важко механізувати.

### **Ключові слова**

ШАХТА, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ, ПРОХІДНИЦЬКИЙ КОМПЛЕКС, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ВИРОБОК, КРІПЛЕННЯ ВИРОБОК, ГЛИБИНА РОЗРОБКИ, ПЛОЩА ПЕРЕТИНУ ВИРОБКИ

## **SUMMARY**

KIRSANOV O.L. Justification and selection of the organization, technology and mechanization of excavations in the tunnel shaft.

Graduation qualification work for a master's degree in specialty 184 "Mining" - DNVZ "DonNTU", Lutsk, 2022.

Effective and safe work in the mine is determined by the excellent condition of the preparatory products. An increase in the depth of development, an increase in the cross-sectional area of the workings, and the acceleration of cleaning work lead to a significant deterioration of the working conditions of the workings and their further exploitation.

For coal mines, ensuring the stability of preparatory workings (rapid deepening of mining operations, deterioration of the mining and geological conditions of the deposit) becomes more relevant with each year of their operation. It is necessary to repair up to 40% of the total length of the products every year. 95% of all works are devoted to the repair of products located in the zone of influence of the cleaning pit. Most of the maintenance work is manual and hazardous to workers and difficult to mechanize.

### **Keywords**

MINE, INTENSIFICATION OF MINING WORKS, PASSAGE COMPLEX, PROVIDING STABILITY OF WORKS, FIXING OF WORKS, DEPTH OF DEVELOPMENT, CROSS-SECTION AREA OF WORKS

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                                                                                                | 6  |
| 1. СТАН ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ<br>В УМОВАХ РОЗРОБКИ ВУГІЛЛЯ НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ.....                                                               | 10 |
| 2. ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ<br>ВИРОБОК В УМОВАХ ВЕЛИКИХ ГЛИБИН .....                                                                                 | 15 |
| 3. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ОХОРОНИ ТА ПІДТРИМАННЯ<br>ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ.....                                                                         | 22 |
| 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМУВАННЯ МАСИВУ ТА<br>ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБОК, ЩО<br>ПРОВОДЯТЬСЯ НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ, ЗА ДОПОМОГОЮ<br>МОДЕЛЕЙ З ЕКВІВАЛЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ ..... | 38 |
| 5. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ<br>МАСИВУ ПОРІД НАВКОЛО ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ.....                                                                              | 44 |
| 6. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ<br>ВИБРАНОГО СПОСОБУ ОХОРОНИ ТА ПІДТРИМАННЯ .....                                                                    | 49 |
| 7. ВИБІР ПРОХІДНИЦЬКОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ<br>ВИРОБОК В ПОРОДАХ РІЗНОЇ МІЦНОСТІ .....                                                                                | 55 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                                                                              | 70 |
| ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ .....                                                                                                                                                   | 72 |
| ДОДАТКИ.....                                                                                                                                                               | 79 |

## **ВСТУП**

### **Актуальність магістерської роботи**

Ефективна та безпечна робота в шахті визначається добрим станом підготовчих виробок.

Зростання глибини розробки, збільшення площі перетину виробок, прискорення очисних робіт призводять до значного погіршення умов проведення виробок та подальшої їх експлуатації.

Для вугільних шахт набуває з кожним роком їх експлуатації актуальність в забезпеченні стійкості підготовчих виробок (швидке поглиблення гірничих робіт, погіршення гірничо-геологічних умов залягання родовища). Середня трудомісткість підтримання виробок на 1000 т видобутого вугілля досягає 75 чол.змін, близько 15% довжини підготовчих виробок мають незадовільний поперечний перетин. Доводиться щороку ремонтувати до 40% загальної довжини виробок. 95 % всіх робіт посідає на ремонт виробок, що знаходяться в зоні впливу очисного вибою. Більшість робіт з підтримки виконуються вручну та становлять небезпеку для робочих, ці роботи важко механізувати.

Належна стійкість підготовчих виробок залежить способів проведення, їх охорони та розташування відносно очисного вибою, від конструкції, типу та працездатності кріплення, яке встановлюється в виробках.

Вибір раціональних засобів (способів) кріплення та підтримання виробок при складних умовах їх експлуатації стає більш актуальним, тому від правильного вирішення цього залежить безпека робіт, своєчасна підготовка виймальних ділянок, техніко-економічні показники роботи підприємства.

На шахті, при збільшенні глибини розробки серйозною стає проблема підтримання підготовчих виробок. Ті способи охорони, які існують сьогодні, малоефективні. Тому розроблення нових способів охорони та підтримання виробок у таких гірничо-геологічних умовах,

обґрунтування їх параметрів на основі закономірностей взаємодії системи "кріплення-масив", є дуже актуальним завданням, яке має важливе наукове значення.

### **Розробленість теми роботи**

Над створенням машин і засобів механізації прохідницьких робіт працювали дослідницькі та проектні інститути до 2014 року: МакНДІ, ІГД ім. Скочинського, ВНИМИ. Серед науковців можна виділити Єфременкова, Жабіна, Валчева, Капустіна, Бреннера, Аксьонова, Чаплигіна, Беглякова, Буяліча, Кантовича.

При наявності досліджень з розробки механізації прохідницьких робіт для виробок малого перетинк недостатньо висвітлені питання оцінювання впливу навантажень, які діють на елементи прохідницьких комплексів зі сторони навколишніх порід при проведенні виробок по породам різної міцності. Для обґрунтування параметрів обладнання прохідницького комплексу вирішені питання проведення виробок по породам як низької так і високої міцності, але розробка комплексів для проведення в масиві з широким діапазоном міцності приділяється мало уваги, це вимагає проведення додаткових експериментальних досліджень.

**Мета дослідження в науковій роботі** полягає у виявленні закономірностей змінення параметрів комплексу прохідницького обладнання на базі пересувного кріплення під впливом навантажень порід при покроковому пересуванні по породах різної міцності та обґрунтуванні технічного рішення для проведення виробок іншого перетину.

**Ідея дослідження в науковій роботі** полягає у науковому обґрунтуванні оцінювання впливу навантажень зі сторони навколишніх порід на елементи прохідницького комплексу при проведенні виробок іншого перетину та кроковому пересуванні його елементів у виробці, що дозволяє здійснювати вибір (за спеціальним алгоритмом) обладнання комплексу в границях рішень, що запропоновані, та керувати комплексом як єдиною системою проведення виробки.

**Завдання дослідження в науковій роботі:**

- аналізування та узагальнення теоретичного та експериментального дослідження з механізації прохідницьких робіт при проведенні виробок іншого перетину.

- проведення теоретичного дослідження з виявлення закономірностей змінення параметрів прохідницького комплексу від впливу навантажень при покроковому переміщенні комплексу при різних міцностях порід та розробці алгоритму функціонування його при проведенні виробок іншого перетину.

- створення експериментального стенду для дослідження для визначення параметрів прохідницького комплексу в залежності від схеми навантаження моделі в масиві.

- проведення моделювання функціонування прохідницького обладнання на основі імітаційної моделі при швидкому проведенні виробки іншого перетину в масиві різної міцності з урахуванням процесів прохідницького циклу.

- розроблення методики розрахунку основних параметрів прохідницького обладнання та рекомендацій х його застосування.

**Наукова новизна магістерської роботи полягає в розробленні** алгоритму управління прохідницьким обладнанням на основі імітаційної моделі при швидкому проведенні виробки іншого перетину в масиві різної міцності з урахуванням процесів прохідницького циклу, це включає відповідність параметрів кріплення з виконавчими органами з відбійки вибою при мінімальному часі проведення при поєднанні операцій циклу.

**Теоретична та практична значущість магістерської роботи** полягає у встановленні залежності змінення параметрів прохідницького обладнання від впливу навантажень при його покроковому пересуванні в різних породах за міцністю.

Імітаційне моделювання функціонування прохідницького обладнання при швидкому проведенні виробки іншого перетину дозволяє

прогнозувати термін проведення виробок у різних за міцністю гірських породах. Обґрунтовані параметри вузлів кріплення, яке забезпечує безпеку у привибійному просторі з урахуванням залежності коефіцієнта опору пересування від міцності гірських порід при різних варіантах навантаження.

**Структура та обсяг роботи.** Робота містить вступ, розділи, висновки, список джерел. Загальний обсяг магістерської роботи - 88 сторінок.

## **1. СТАН ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ РОЗРОБКИ ВУГІЛЛЯ НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ**

Паливно-енергетичне забезпечення грає основну роль в економіці будь-якої розвиненої країни, до таких належить Україна. Традиційними джерелами для виробництва енергії сьогодні є така мінеральна сировина як нафта, газ та вугілля.

Подальший розвиток вугільної промисловості в світі пов'язаний зі збільшенням використання вугілля, його ціна в 2,0 рази нижча еквівалентної ціни нафти та в 1,5 рази газу. Перевагами вугілля перед іншою енергетичною сировиною є можливість транспортування його будь-яким транспортом без шкоди для навколишнього середовища, великі запаси, можливість застосування під час спалювання вугілля чистих технологій.

Вугілля є єдиною сировиною, обсяги якого є достатніми сьогодні для забезпечення потреб економіки. Тому вугільна промисловість нашої країни це гарант нашої енергетичної незалежності.

Аналізування тенденцій розвитку енергетики показує, що у структурі запасів світу на вугілля припадає 66%, на нафту – 19%, на газ – 15%. В нашій країні ці показники становлять 95%, 2% та 3% відповідно. Обсяг вугілля в країні 117 млрд. т, з них 7 млрд. т на шахтах, що експлуатуються, з них 4 млрд. т – енергетичне вугілля. Такі запаси дозволяють видобувати вугілля по 100 млн. т на протязі 500 років.

Вугільна промисловість нашої країни є основною галуззю народного господарства та постачає сировину для потреб енергетики (40% від загального постачання), для коксохімічного виробництва (20%), для потреб населення (10%), для комунально-побутових споживачів (5%), для інших споживачів (25%). Для країни видобуток вугілля має пріорит, його частина

в загальному енергетичному балансі становить 25% (перерахунок на умовне паливо).

Довгострокова політика розвитку вугільної промисловості буде передбачати три етапи (ближня, середньострокова та дальня перспективи).

На 1-му етапі передбачено комплексне рішення розвитку шахтного фонду, а саме відтворення його на сучасній технічній основі. Видобуток вугілля прогнозується збільшити до 90 млн. т, а виробничу потужність до 105 млн. т на рік.

Для виконання цього необхідне фінансування промисловості у повному обсязі.

На 2-му етапі передбачений обсяг видобутку вугілля 110 млн. т, виробнича потужність 125 млн. т на рік. Це дозволяє задовольнити споживачів енергетичний вугіллям повністю та підвищити забезпечення коксівним до 83%.

3-й етап це довгострокова перспектива. Обсяг видобутку планується збільшити до 130 млн. т. При зростанні споживання вугілля на 40%, потреба економіки в енергетичному вугіллі буде забезпечена на 97 %, в коксівному на 73%. Виробнича потужність повинна зрости до 145 млн. т на рік (коефіцієнт використання 90%). Це вимагає реконструювання діючих підприємств (приріст потужності) та будівництва нових на розвіданих ділянках родовищ зі сприятливими умовами.

Ефективна робота шахт залежить від багатьох причин, основною є стан підготовчих виробок. Вони забезпечують доступ до вугілля, безперервну та надійну роботу підземного господарства шахти.

Проблема в забезпеченні стійкості виробок набуває особливого значення при збільшенні глибини розробки, при цьому підвищується гірський тиск, це зумовлює значні деформації кріплення в виробках. Середня глибина розробки в країні наближається до 850 м, 60% шахт вже працюють на глибині понад 650 м, 15% на глибині понад 1100 м.

Поглиблення розробки останнім часом (протягом 30 років) у середньому по країні становить 500 м, або 20 м протягом року.

Для забезпечення нормального експлуатаційного стану виробок доводиться проводити ремонтні роботи, які проявляються в повному перекріпленні певних ділянок а іноді і всієї виробки, застосуванні тимчасового кріплення підсилення, заміненні деформованих елементів кріплення, підриванні порід підосви, заміненні міжрамних стяжок, збільшенні щільності встановлення рам. Трудомісткість таких робіт залишається високою, досягає 90 чол.змін на 1000 т видобутого вугілля.

Протяжність виробок, що ремонтується, становить 50% від проведених, відремонтовані в 1,5 рази перевищують їх довжину.

Незважаючи високу трудомісткість ремонтних робіт та їх великий обсяг, довжина виробок з поганим станом залишається значною (15%) від загальної довжини виробок, які підтримуються.

За останні двадцять років річне проведення підготовчих виробок скоротилося з 450 до 150 км. Довжина виробок, що підтримуються, також скоротчується, це пов'язано з реструктуризацією вугільної промисловості. Але з ускладненням гірничо-геологічних умов кількість виробок, які ремонтуються, збільшується.

При переході на більш глибоку розробку змінення контуру виробок збільшилися майже в 3 рази. Застосування податливого кріплення з великим запасом не дає позитивного результату, кріплення з спепрофілю має низьку здатність та не може протидіяти підвищеному гірському тиску. Війна в країні також впливає на показники вугільної галузі, стан підготовчих виробок залишається дуже незадовільним.

Понад 45% виробок ремонтується до введення в експлуатацію, 50% кріплення діючих виробок на сьогодні деформовано.

Аналіз стану виробок та витрат, що пов'язані з їх підтриманням і ремонтом, показує, що дуже складно підтримувати підготовчі виробки в

нормальному стані із-за великих зміщень їх контуру. На шахтах країни щорічно ремонтується більше 5000 км підготовчих виробок.

Проблема підтримання підготовчих виробок у нормальному стані під час їх експлуатації залишається актуальною та набуває зростаючого характеру, потребує створення та впровадження ефективних способів з охорони та підтримання, розроблення нових конструкцій їх кріплення. Особливо це актуально при переході гірничих робіт на великі глибини.

Проявлення гірського тиску в виробках в зоні впливу очисного вибою сильно відрізняється від того, де неає такого впливу. Цей процес протікає тривалий час та має велику інтенсивність. Це призводить до значних деформацій гірського масиву навколо виробок та руйнування кріплення.

Оскільки існуючі способи не забезпечують нормальний експлуатаційний стан підготовчих виробок, це негативно позначається на роботі очисних вибоїв та безпеки робіт на виймальній ділянці.

При переході підземних робіт на глибокі горизонти погіршуються гірничо-геологічні умови розробки вугільних пластів.

На глибоких горизонтах значно збільшуються витрати на ремонтування та перекріплення виробок, ускладнюються заходи при боротьбі з раптовими викидами вугілля, порід і газу, гірськими ударами та високою температурою. Значний вплив на проявлення гірського тиску в виробках надають збільшення глибини видобутку, ускладнення гірничо-геологічних умов, вони виражаються в зростанні зміщень гірських порід навколо цих виробок. У деяких з них зміщення порід в покрівлі протягом терміну експлуатації досягають 1,50 м. Зростання значень зсуву навколишніх порід призводить до значного зменшення площі поперечного перетину та вимагає проведення ремнотних робіт та повного відновлення в деяких випадках.

Незважаючи на досягнення в управлінні гірським тиском в масиві порід навколо підготовчих виробок, стан останніх залишається незадовільним, особливо на сполученнях з очисними вибоями.

Як свідчить аналіз способів та засобів підвищення стійкості виробок, найбільший ефект у наших умовах дають заходи, що спрямовані на збереження цілісності масиву навколо виробки та використання несучої його здатності.

В перспективі можливі два напрямки рішення задачі з підвищення стійкості виробок: з однієї сторони це вдосконалення конструкції кріплення на основі технічних рішень щодо підвищення його надійності та звлучення несучої здатності гірського масиву; з іншої сторони це застосування нових конструкцій кріплення, способів охорони та підтримання (розвантаження та зміцнення масиву порід).

Для досягнення цієї мети поставлені такі завдання:

- обстеження (візуальні), вимірювання проявлення гірського тиску в виробках;
- визначення закономірностей з деформування гірського масиву навколо виробок;
- розроблення нового способу охорони виробок (на великих глибинах);
- виявлення закономірностей змінення напружено-деформованого стану масиву порід навколо виробок при використанні нового способу їх охорони;
- визначення параметрів нового способу охорони виробок та їх підтримання в певних гірничо-геологічних умовах.

Рішення поставлених завдань виконуємо з використанням підходу, який включає аналізування та узагальнення літературних джерел, інструментальні спостереження, моделювання із застосуванням методу кінцевих елементів, фізичне моделювання (моделі з еквівалентних матеріалів), проведення випробувань на підприємстві.

## **2. ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК В УМОВАХ ВЕЛИКИХ ГЛИБИН**

Складні умови, при яких необхідно проводити виробки, характеризуються значними труднощами, а інколи неможливістю проведення прохідницьких робіт.

На складність спорудження виробок впливають такі природні фактори:

- непостійність гірничо та геологічних умов залягання;
- висока температури гірських порід за значній глибині їх залягання;
- обводненість родовища корисних копалин;
- висока метанообильність в виробках;
- наявність небезпечного за вибухами вугільного пилу;
- схильність вугільного пласта до самозаймання;
- значна глибина ведення гірничих робіт.

Спорудження виробок в таких умовах вимагає рішення нестандартних задач, наприклад, підтримання покрівлі при завалах у виробці. Оскільки ми стискаємося з небезпечними та мінливими умовами, (робота характеризується високим ризиком), виникає необхідність розробки спеціального прохідницького обладнання, що забезпечує швидкісне проведення виробок певного перетину в таких умовах.

При спорудженні виробок в складних умовах, ліквідації завалів та кріпленні обвалених виробок використовують гідравлічні інструменти.

Сьогодні ведеться розробка машин-роботів (бездротових), які оснащені різними датчиками, камерами для видимості в умовах слабого освітлення, це на першому етапі проведення виробок в складних умовах збільшує ефективність прохідницьких робіт. Наявність машин-роботів зменшує трудомісткість і небезпеку прохідницьких робіт, особливо там, де ймовірність виникнення вибухонебезпечних газів висока та можливе обвалення порід покрівлі в виробках.

Перший робот для шахтних умов був розроблений в Америці у 1998 році. Він оснащений датчиком виявлення газу, гіроскопом, радіочастотним приймачем та передавачем сигналу, інфрачервоною камерою. Але дистанція його роботи становить лише 75 м.

В 2001 році для вугільних шахт “Remotec” (Америка) був розроблений робот "Wolverine V2".

Робот (вага 550 кг) переміщується на гусеничному ході, оснащений навігаційними камерами з підсвічуванням, нічним баченням та двобічним голосовим зв'язком. Робот управляється в реальному часі дистанційно з відстані 1,5 км. Але, через недосконалість ходової частини, у 2006 році він загруз у підшві виробки після проведення лише 790 метрів.

Робот для вугільних шахт "CUMT-I" (Китай) був розроблений у 2006 році університетом гірничої справи та технології.

Але ці роботи не були застосовані в зруйнованих виробках через найскладні умови.

В 2010 році після вибуху газу на шахті «Parker River» були застосовані роботи з диференціальним управлінням.

Роботизовану техніку у нас почали застосовувати на шахтах в складних умовах з 2018 року для проведення розвідки з відстані 1,0 км. Роботи оснащені камерами, датчиками газу, іншим вимірювальним обладнанням, але використання їх обмежується можливостями ходової частини (пересування в виробці після обвалювання порід з покрівлі виявилось неможливим).

Вимоги до роботів високі, обумовлюються вони складними гірничо-геологічними умовами залягання. Роботи повинні відповідати вимогам безпеки, мати захищене від вибухів виконання, автономність дії, дистанційне управління та ін.

Всі розглянуті роботи призначені для збирання інформації та можуть використовуватися на 1-му етапі проведення виробок в складних умовах (при проведенні виробок з метою звільнення заблокованих шахтарів).

Для забезпечення проведення виробок в складних умовах та зменшення небезпечних ситуацій розробляються різні варіанти комплексів гірничих машин.

Еллер та Пушкіна розробили обладнання для проведення виробок по завалу порід, воно містить прохідницьку машину з поворотним механізмом, кріплення має вигляд пружної смуги, що складена в телескопічну спіраль, блок приводу. Витки кріплення при висуванні обертаються.

Стратиграфія ділянки наступна. Четвертинні відкладення представлені рослинним шаром та суглинками. Товщина четвертинних відкладень змінюються від 0,30 до 21,0 м, середня товщина відкладень 5,5 м.

Серед піщано-сланцевих відкладень значне поширення мають вапняки. Міститься 30 вугільних пластів (витримані k5 і k3, відносно витримані k1 і k2).

Породи підосви сланці піщані та глинисті (52%), пісковики (42%), вапняки (2,5%), вугілля (1,5%). Загальна товщина відкладень 650 м.

Розкрита частина поля містить вісім вугільних прошарків. Площина дільниці розташована в західній частині південного крила. Південне крило має полого залягання. Простягання порід північно-західне, прямолінійне, з падіннями на північний схід.

Великих порушень (диз'юнктивних) в межах поля не було виявлено, але при веденні гірничих робіт на сусідніх шахтах відзначено ряд дрібних флексур. Найбільшою є флексурська складка, розвинена в східній частині. Простягання її осі північно-східне. У місці розвитку гірські породи сильно ослаблені, це перешкоджає веденню робіт.

Мікротектоніка через малі амплітуди складок не піддається визначенню під час ведення розвідувальних робіт та може бути встановлена лише при проведенні виробок або веденні очисних робіт.

Саме тому, при веденні гірничих робіт, можлива низка дрібних порушень, вони будуть ускладнювати ведення робіт.

Підтримання в експлуатаційному стані виробок в зоні впливу очисних робіт це найважливіший фактор, який визначає стабільну роботу виймальних ділень.

Продуктивність очисного обладнання, собівартість вугілля, інші техніко-економічні показники роботи підприємства перебувають в прямій залежності від стійкості виробок. Досвід роботи показує, що підтримання виробок у зоні впливу лави це складний, трудомісткий і вартісний процес. Поєднання таких факторів як кут нахилу пласта, його товщина, міцність, шаруватість та обводненість порід, їх температура, нерівномірність навантаження на кріплення, визначає труднощі, що пов'язані з забезпеченням стійкості підготовчих виробок.

Основними факторами, які впливають на стійкість виробок, являються геомеханічні процеси, що відбуваються при вийманні пласта та подальшому обвалюванні порід покрівлі. Облік цих факторів призводить до розроблення та впровадження нових кріплень, які відрізняються принципом роботи, особливостями конструкції, характером взаємодії з масивом порід. Такі кріплення дають позитивний ефект, але не можна вважати забезпечення стійкості підготовчих виробок у зоні впливу лави вирішеними до кінця.

Для встановлення характерних видів проявлення гірського тиску в виробках було проведено детальне обстеження їх загальною довжиною 1700 м. Встановлено, що найбільш характерним проявленням гірського тиску в таких виробках є деформації кріплення (розривання хомутів при в замках, розрив арок кріплення в зоні впливу очисного вибою, пошкодження та повне руйнування затягування) та піддування порід в підшві. Таке проявлення гірського тиску стає більш інтенсивним при впливі лави в зоні геологічних порушень.

Дослідження деформування аrochenого кріплення в умовах впливу очисних робіт включє в себе багатоетапне аналізування результатів.

На 1-му етапі проводиться аналізування гірничо-геологічних умов, в яких проводяться виробки та дані з обсягу ремонтних робіт.

На 2-му етапі проводиться обстеження стану виробок, визначаються абсолютні значення деформацій та руйнувань елементів кріплення, виділяються ділянки виробок з найбільш характерними видами руйнувань і деформацій.

При проведенні спостережень рами кріплення нумеруються крейдою. Нумерація йде зростаючим порядком від початку виробки до вибою.

При проведенні спостережень в журнал заносяться відомості щодо відхилення від паспортів кріплення, необхідних розмірів та якості забутування простору за кріпленням.

Потім відзначаються всі змінення стану рам кріплення, а саме деформації її елементів, руйнування елементів, що скріплюють. Найбільш характерні змінення ескізуються.

Проаналізувавши стан виробок та результати виконаних обстежень підготовчих виробок відзначимо, що значна частина виробок перебуває у незадовільному стані, впливає на ритмічну роботу підприємства, погіршує умови провітрювання та транспортування.

На 3-му етапі проводяться інструментальні вимірювання, в процесі них визначаються зміщення порід покрівлі, підосви та боків виробки, змінення кривизни арок.

Встановлення характеру проявлення гірського тиску в підготовчих виробках шахти проводили за допомогою інструментальних досліджень в зоні впливу лави та поза зоною такого впливу.

В якості основного методу дослідження були прийняті спостереження за зміщеннями гірських порід на контурі перетину виробок.

Точність оцінювання становить 5,0 см (при спостереженнях) та 0,50 см (при вимірюванні зсувів масиву порід).

Методика спостережень включає кількісні критерії: стан кріплення, план контролю, анкету з обстеження виробки. Основними елементами методики є вимірювання вертикальних і горизонтальних зсувів на контурі виробки та дослідження згинальних деформацій в елементах кріплення.

Гірничо-геологічні умови розробки та властивості навколишніх порід показують, що виробки перебувають в складних умовах експлуатації. Слабкі породи, велика глибина ведення робіт, наявність дрібних тектонічних порушень негативно впливають на стан виробок. До цього додається вплив очисних робіт, це суттєво збільшує складність підтримання виробок в нормальному експлуатаційному стані.

Навантаження на сусідні рами неоднакове, величина навантаження по довжині кроку рам кріплення змінюється кілька разів. Ця нерівномірність у розподіленні навантаження на кріплення пояснюється поганою забутовкою, порушеністю та неоднорідністю гірських порід, відмінністю в характеристиках окремих рам кріплення, моментами спрацьовування замків податливості кріплення, невдалою конструкцією затягування. Від цього площа дії навантаження відхиляється від площини рами. Елементи кріплення відчують скручуючі дії та вигини з цієї площини.

Ці силові впливи посилюються з часом під впливом переміщення окремих пачок порід. Крутящий та згинальний моменти значно підсилюють напружений стан на елементи кріплення. Спостереження показують, що в таких умовах кріплення втрачає несучу здатність. В основі визначення величини навантаження на кріплення лежить вимірювання величин, які пов'язані з неявним чином. Силовий вплив масиву на кріплення викликає деформацію її елементів при появі згинального моменту. Деформація арки кріплення в довільній точці пов'язане з зміненням кривизни в точці. Так, змінення кривизни у

фіксованій точці арки функціонально пов'язане з навантаженням, яке розподілене за контуром арки кріплення.

### **3. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ОХОРОНИ ТА ПІДТРИМАННЯ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ**

Охорона підготовчих виробок представляє собою це комплекс заходів в тому числі і гірничо-технічних, які спрямовані на забезпечення нормального їх стану відповідно до умов безпечної експлуатації протягом усього терміну їх служби.

Розробкою способів охорони та підтримання виробок займалися Бажин, Глушко, Друцько, Заславський, Зборщик, Косков, Кошелєв, Литвинський, Максимов, Назимко, Роєнко, Усаченко, Черняк та інші.

Стійкість оголень порід та кріплення виробок, які охороняються, залежить від певних геологічних та гірничо-технічних факторів, а саме, фізико-механічних властивостей гірських порід, кута падіння пласта та його потужності, тріщинуватості масива порід, глибини залягання, форми перетину виробки, розташуванню їх відносно очисних робіт. Головними факторами, які впливають на збереження виробки в нормальному стані, є напружений стан гірських порід та їх фізико-механічні показники.

Виділяється три напрями охорони виробок – це зміцнення слабких порід масиву; розвантаження його від надмірних напруг; спорудження штучних споруд за межами контуру виробки. Заходи з їх виробок виконуються заздалегідь (зміцнення гірського масиву, розвантаження його від надмірних напруг підробкою); в період проведення (зміцнення гірського масиву, розвантаження його від надмірних напруг проведенням виробки слідом за вибоєм); в період експлуатації виробки (тампонаж простору за кріпленням, зміцнення гірських порід, зведення штучних споруд за контуром виробки з метою її збереження для повторного використання).

Способи охорони виробок розробляють і вдосконалюють так:

- збереження (відновлення) фізико-механічних властивостей гірських порід, збільшення природної їх міцності;

- зменшення концентрації напруг в гірському масиві шляхом зміщення зони підвищеного тиску в глибину масиву на деяку відстань при використанні певних гірничо-технічних заходів.

На наших шахтах способами охорони підготовчих виробок залишаються цілики вугілля та бутові смуги. Способи мають суттєві недоліки:

- при збільшенні глибини розробки більше ніж 700 м цілики концентрують великі навантаження та не забезпечують протягом терміну служби виробки її стійкість. Збільшення розмірів ціликів призводить до значних втрат вугілля;

- охорона виробок ціликами (особливо при їх збільшенні) призводить до збільшення обсягу проведення виробок подовженням збійок та розрізних печей (просіків);

- при розробці світи пластів (з відстанню між пластами до 40 м) цілики, які залишаються на одному пласту, шкідливо впливають на очисні роботи та підтримання виробок на інших пластах;

- при наявності ціликів та бутових смуг на викидо- та ударонебезпечних пластах знижується безпека праці;

- охорона виробок бутовими смугами дуже трудомістка, велика податливість їх вимагає збільшення поперечного перетину виробки з застосуванням більш складного та вартісного кріплення з підвищеною податливістю;

- застосування бутових смуг не виключає шкідливого впливу, а саме залишені бутові смуги починають працювати як цілики.

Потрібно застосовувати такі способи проведення та охорони, щоб вони:

- не зазнавали впливання тимчасового опорного гірського тиску;

- знаходилися постійно в зоні знижених напруг опорного гірського тиску;
- при впливанні тимчасового опорного гірського тиску перебували в зоні знижених напруг залишкового опорного гірського тиску;
- не повинні відчувати залишкового опорного гірського тиску взагалі.

Цим вимогам задовольняють безціликові способи охорони виробок, їх можна розділити на такі групи.

1-а група – способи, при яких на межі виробленого простору викладаються костри, органне кріплення, стійки, залізобетонні тумби та інші штучні споруди;

2-а група - способи, при яких виробки проводяться вприсічку до виробленого простору;

3-я група – способи, при яких виробки проводяться про породам, які обвалені в виробленому просторі.

Безціликова відробка вугілля за останній час збільшилася на 70%. Протяжність виробок, які охороняються такою технологією, становить 80% від річного їх обсягу проведення і тільки п'ята частина виробок охороняється ціликами вугілля.

В основному застосування цих способів підтримання виробок припадає на стовпові та суцільні системи розробки з збереженням виробок для повторного їх використання та підсвіження вихідного з ділянки струменю повітря. При цьому найбільша довжина виробок у незадовільному стані припадає на ті виробки, які підтримуються за лавою, найменша – на виробки, які проводяться вприсічку до виробленого простору.

Це пояснюється тим, що виробки підтримуються в несприятливих умовах, серед яких можна виділити зміщення гірських порід при проведенні, опорний тиск попереду очисного вибою та за ним; опорний тиск у зоні впливння іншого очисного вибою. Виробки, які проводяться

вприсічку до виробленого простору, знаходяться в розвантаженій зоні масиву та меншою мірою зазнають вплив очисних робіт. Гірський тиск в цьому випадку малий та формується при руйнування крайової частини пласта в лаві.

Перехід на безціликове виймання пластів та погіршення умов підтримання виробок вимагають шукати нові технічні рішення. Зарах широко обговорюються питання вибору оптимальних заходів охорони та підтримання виробок. Але проблема підтримання виробок, які знаходяться на значній глибині в умовах підвищеного тиску, залишається невирішеною у вітчизняній практиці.

При збільшенні глибини розробки та міцності порід в покрівлі ширина зони деформованого вугілля збільшується. Дослідженнями встановлено, що при нестійких та середньої стійкості породах виробки члід проводити з залишенням цілика вугілля шириною до 5 м. Зміщення гірських порід в таких умовах в три рази менше порівнянні з охороною ціликом вугілля до 25 м, в 1,5 рази менше при проведенні виробок у масиві порід. При збільшенні (зменшенні) ширини цілика величина зміщення порід у виробках зростає, при ціликах до 5 м досягає максимального розвантаження гірського масиву. При збільшенні ширини цілика до певної величини напружений стан масиву порід зростає та сприяє їх руйнуванню та витіснення в контури виробки.

Зменшення ширини цілика в той же час викликає збільшення навантаження на кріплення виробки через велику товщу порушених порід та деформаційні процеси навколо.

При збільшенні глибини розробки родовища ефективність проведення виробок вприсічку до виробленого простору зростає. Але сумарна величина зміщень гірських порід в таких виробках на великих глибинах досягає великих значень.

Проведення виробок вприсіку застосовують в складних гірничо-геологічних умовах, при яких використання виробок повторно пов'язане з

значними матеріальними витратами. В 70% випадків проведення виробок в присічку до виробленого простору застосовується схема з залишенням цілика вугілля шириною до 3 м.

Повторне використання виробок на шахтах застосовують при різних системах розробки залежності від потужності пласта вугілля та стійкості гірських порід. Майже 80% виробок, що використовуються повторно, проводять по пластах потужністю до 1,20 м. При нестійких породах частка виймальних ділянок, які відроблюються з повторним використанням підготовчих виробок, досягає 15%.

Виробки повторно використовують при різних гірничо-геологічних умовах: при товщині пласта до 2,0 м, куту падіння до  $35^\circ$ , породах різної стійкості, різній метанообільності, небезпечних за викидами вугілля та газу пластах, різній глибині розробки.

Стійкість виробок визначається багатьма гірничо-технічними факторами, а саме схемою підготовки, системою розробки, способами охорони та кріплення.

Головною умовою забезпечення стійкості виробок є швидке встановлення кріплення та взаємозв'язок його з породами. При відсутності забутовки за кріпленням та при неякісному його встановленні тривалий час не має опору зміщенню гірських порід, це сприяє утворенню області великих розмірів зруйнованих порід навколо.

Основним кріпленням виробок є металеве аркове податливе кріплення з спеціального профілю. Найбільшого поширення набуло триланкове арочне кріплення, але ефективність його застосування з глибиною зменшується через малу конструктивну податливість (300 мм).

При такій малій несучій здатності арочне кріплення не впливає на геомеханічні процеси навколо виробки. Її функції зводяться до запобігання вивалів та висипання зруйнованих гірських порід в робочий простір виробки.

При підвищенні стійкості кріплення стійками посилення їх установку необхідно проводити попереду очисного вибою за зоною активного проявлення опорного тиску. В інших випадках ефективність знижується. При заляганні в покрівлі сланців піщаних випередження має бути 60-90 м, при глинистих сланцях 30-40 м.

На думку Черняка в глибоких шахтах підсилююче кріплення ефективно застосовувати при заляганні в покрівлі пластів тонких глинистих і піщаних сланців. Головне призначення кріплення посилення це перешкодження зміщенню гірських порід та зменшення довжини зони активного проявлення опорного тиску.

У сприятливих умовах підтримання перебувають виробки, які проводяться позаду очисного вибою при суцільній системі розробки. Систему застосовують у складних гірничо-геологічних умовах та на великих глибинах. Витрати на підтримання виробок при суцільній системі нижче, ніж при проведенні їх з випередженням лави або у випадку стовпової системи розробки з повторним їх використанням.

До особливої групи відносять виробки, які проводяться в попередньо розвантаженому гірському масиві порід. К ним відносять виробки, які проводяться вслід за очисним вибоєм з двосторонніми породними смугами вприсічку до виробленого простору по обваленим та ущільненим породам в попередньо надробленому або підробленому масиві порід.

Для таких виробок глибина розробки не має істотного впливання на стан масиву порід, тому немає необхідності збільшувати щільність встановлення кріплення.

Але, враховуючи те, що високі навантаження виникають переважно в очисних вибоях при стовпових системах розробки та частка використання цієї системи постійно зростає, задачі вдосконалення способів підтримання виробок при таких системі набуває актуальності.

Поширення для охорони виробок в наших умовах набули бутові смуги з гірських порід. Перевагою такого способу охорони є можливість

залишення порід у шахті. Але, висока трудомісткість спорудження смуг вручну та велика їх податливість знижуює ефективність застосування з точки зору підтримання. Підвищення щільності смуг сприяє поліпшенню стану виробок, і відповідно, зниження витрат на їх підтримання.

Найкраща ефективність застосування породних смуг досягається при суцільній системі, коли порода від проведення виробки безпосередньо на місці закладається у вироблений простір. При необхідності транспортування породи від вибою до спеціального дробильно-закладального комплексу, а від нього по трубах на великі відстані до лав зменшується економічний ефект від застосування бутових смуг при стовпових системах розробки. З точки зору підтримання охорона виробок смугами з гірських порід, які зводяться вручну або з застосуванням скреперних установок, має недоліки, що пов'язані з нерівномірним обвалюванням порід покрівлі виробки за очисним вибоєм через асиметричне навантаження на кріплення та передчасне її деформування. Крім того, у деяких ситуаціях породна смуга, уподібнюючись до вугільного пласта, сама стає концентратором напруг, працює штампом, провокує витіснення нестійких гірських порід.

Вже давно на шахтах широко та успішно в певних гірничо-геологічних умовах і на великих глибинах застосовуються способи охорони виробок бутовими смугами, які викладаються з порід від підривання підосви та покрівлі виробки при проведенні її широким вибоєм. Така охорона виробок поєднує метод розвантаження гірського масиву від тиску, особливо спочатку експлуатації виробки та метод підсилення виробки смугою з великою здатністю. Застосування такого способу охорони стримується тим, що відсутнє надійне та продуктивне обладнання для закладання. Інтерес представляє дробильно-закладний комплекс «Титан-1». Він призначений для механізації закладальних робіт під час проведення виробок за лавою або широким вибоєм. При збереженні виробки за очисним вибоєм при проведенні вприсічку

застосовуються подвійні бутові смуги. Одна смуга є опорною з шириною до 7,0 м та викладається на відстані до 8,0 м від виробки. Вона приймає навантаження з боку покрівлі. Інша смуга шириною до 3,0 м зводиться безпосередньо біля виробки. В порожній простір між смугами видавлюються породи. При цьому досягається більш плавне зменшення напруженості порід в покрівлі і підшві. Охорона виробок одною бутовою смугою має недосконалість через невідповідність характеристик породної смуги та пласта. Тому виникають несиметричні напруги, які негативно впливають на рівновагу масиву порід. Для вирішення цього питання для ослаблення масиву порід бурять розвантажувальні свердловини великого діаметра. При застосуванні бутових смуг шириною більше 4 м маємо також негативні наслідки при вийманні пластів, що розташовані нижче. Тому бажано, щоб смуга після свого використання бути розвантажена або взагалі ліквідована.

Зазначаємо, що викладення смуг у лавах та зонах сполучення лав з виробками є одним з ефективних способів охорони. При покрівлі, яка важко обвалюється, смуги є основними заходами для охорони сполучення в період посадки порід покрівлі. Викладка смуг дозволяє підтримувати виробки в експлуатаційному стані, повторно їх використовувати для відробки інших стовпів, забезпечувати краще провітрювання виробок.

При охороні виробок смугами з порід забезпечується безвідходність технології їх проведення.

Застосування стовпових систем розробки з підтриманням виробок за лавою зумовлює виконання певних робіт, які спрямовані на створення штучних споруд. На малих та середніх глибинах широке застосування знайшли штучні споруди - чуракові стінки, дерев'яні костри, залізобетонні тумби, органні ряди. На глибині 600 м та більше для охорони виробок в використовують накатні костри, бутокостри, костри в поєднанні з органним кріпленням. Виробки, при цьому, проводять збільшеною площею перетину. Також використовують кріплення з підвищеною

конструктивною податливістю, її в зоні впливання очисних робіт підсилюють гідростійками та дерев'яними ремонтинами.

При збільшенні глибини спостерігаємо скорочення застосування використання виробок повторно при стовпових системах розробк. Це пояснюється тим, що при збільшенні глибини збільшуються у кілька разів зміщення гірських порід, повторне використання пов'язане з великими витратами на їх підтримання. Традиційні засоби охорони виробок практично не впливають на інтенсивність та величину зміщень гірських порід.

Незважаючи на переваги охорони виробок при проведенні їх вприсічку до виробленого простору (повторно), цей метод призводить до зменшення концентрації робіт та викликає збільшення обсягу прохідницьких робіт. Перспективною вважається охорона виробок за допомогою штучних споруд, які встановлюються вздовж виробки за першою лавою. У випадку слабких порід покрівлі, які легко обвалюються, рекомендується обвалювати покрівлю на кріплення посилення, а при породах покрівлі, які важко обвалюються, - на смуги з швидко твердіючих матеріалів.

Такий спосіб охорони виробок (смуги з швидко твердіючих матеріалів) дуже зарекомендував себе в таких умовах: ширина смуги – 1,30 м при товщині пласта 1,40 м. Зближення підосви та покрівлі в виробці зменшилося майже в 3 рази.

Проведено оцінювання способу охорони виробок за очисним вибоєм жорсткими смугами. Встановлено, що спосіб доцільно застосовувати на глибині до 700 м, при міцності порід покрівлі не менше 25 МПа та підосви не менше 45 МПа. На більшій глибині міцність гірських порід має бути більше 45 МПа.

Доцільно для наших умов застосовувати спосіб охорони виробок литими смугами, які складаються з різних сумішів.

На наших шахтах 20% виробок, які охороняються залізобетонними спорудами (тумбами), перебувають у дуже незадовільному стані.

Якщо в покрівлі залягають переважно породи, які є легко- та середньообвалюємими, то застосування тумб виявляється ефективним. Але при наявності потужних порід, які важко обвалюються, ефективність способу зменшується.

Поганий стан виробок, які охороняються залізобетонними блоками, можна пояснити тим, що через нерівну поверхню на контактах цих блоків виникають напруги, які перевищують міцність бетону. При нерівномірному навантаженні вони працюють на розтягання, це різко зменшує їх несучу здатність. Якщо блоки встановлюються на дерев'яні прокладки останні являються поверхнями ковзання, через це блоки втрачають стійкість та перекидаються.

Литі смуги з швидко твердіючих матеріалів призначені для створення лінії обвалювання порід покрівлі, що зависають на границі виробленого простору, підвищувати стійкість виробки завдяки зменшенню зсувів масиву порід та навантаження на кріплення, запобігати надмірним витокам повітря.

При цьому способі міцність смуги необхідно брати близькою до міцності порід. В протилежному випадку має місце вдавлення литої смуги в покрівлю або підшву виробки та її руйнування. Як показує аналізування, основними перевагами такого способу підтримання в порівнянні з породними смугами або дерев'яними кострами є швидке розвинення опору, забезпечення розподіленого рівномірно навантаження, це сприятливо позначається на умовах роботи. Смуги з швидко твердіючих матеріалів набувають такий опір, який дорівнює опору дерев'яного костра в 7,0 м за лавою, у випадку встановлення дерев'яного костра повна несуча здатність досягається в 30 м за лавою. Іноді твердіючий матеріал розміщується в оболонці.

Промислове впровадження на шахтах способу охорони виробок литими смугами показує його перспективність.

Застосування литих смуг з фосфогіпсу для охорони виробок дозволяє повністю відпрацьовувати виймальні стовпи, зберігаючи виробки для повторного їх використання та незначними витратами на їх ремонтування.

На практиці дослідження ефективності застосування литих смуг для охорони виробок проводили в Донуги, Дніпрогіпрошахті, ІГД Сковинського. Дослідження свідчать, що при охороні литими смугами не завжди відбувається зменшення конвергенції гірських порід. Лита смуга є ефективною, коли основні зсуви масиву порід відбуваються позаду очисного вибою. в момент спорудження смуги, коли покрівля ще не порушена.

Найбільш простими засобами охорони виробок вважаються дерев'яні костри.

Але вони мають недоліки - це малий опір та дуже велика податливість. При стійких порід у покрівлі пласта костри не забезпечують обвалення порід. При плавному опусканні порід покрівлі в масиві навколо виробки виникають значні напруги, які призводять до великих зсувів гірських порід і деформації кріплення виробки.

Для збільшення жорсткості штучних споруд при важко обвалювальних покрівлях застосовують костри з шпального бруса та заповнені костри зсередини породою. Але цей спосіб має велику трудомісткість при спорудженні, відсутній початковий розпір. Тому його неможливо використовувати в широкому діапазоні гірничо-геологічних умов залягання.

Охорона виробок у міцних породах (не менше 40 МПа) ефективна при застосуванні жорсткого дворядного органного кріплення. При меншій міцності порід охорона виробок здійснюється кострами або чураковими стінками. При цьому маємо меншу несучу здатність.

Також були розглянуті можливості застосування органного кріплення, кострів з органним кріпленням, кострів з шпального бруса, що заповнені породою; костри та органні ряди з бутовою смугою; смуги з швидко твердіючих матеріалів.

Іноді для підвищення стійкості виробок використовується тампонаж закріпного простору твердіючими розчинами.

Дослідження свідчать, що тампонаж закріпного простору у найбільш складних гірничо-геологічних умовах є найбільш ефективним при підвищенні стійкості виробок способом.

При зростанні глибини розробки більшого значення набуває стійкість порід покрівлі, подошви та бокова стійкість самого пласта. Засобом ефективного зміцнення порід і вугілля є анкерування. Сьогодні розроблена велика кількість конструкцій анкерного кріплення.

Анкерне кріплення встановлюється відразу після проведення виробки та не дає породам втрачати монолітність. Прогресивними видами анкерного кріплення є види, що скріплюють породний масив по всій довжині анкера в шпурі.

Можна виділити спосіб зміцнення порід навколо виробки, який представляє зміцнення порід подошви цементним розчином, він закачується в шпури з попереднім підриванням в них зарядів вибухових речовин (невеликих).

Можна розвантажувати масив від тиску бурінням свердловин певного діаметру, це дозволяє регулювати механічний стан в крайовій частини пласта вугілля. Цей спосіб показав свою ефективність, але поширення не набув через відсутність виготовлення серійного обладнання для буріння свердловин великого діаметра.

На підставі цього можна дійти висновків, що питання вибору ефективних засобів і способів кріплення, підтримання виробок в складних умовах їх експлуатації дуже актуальні, від їх правильного вирішення

залежить безпека робіт, своєчасна підготовка фронту очисних робіт, техніко-економічні показники роботи підприємства.

Вибір ефективного способу охорони виробки визначається технологічною схемою підготовки та відробки пластів, яка залежить від гірничо-геологічних і гірничо-технічних факторів: складу гірських порід, їх механічних властивостей, глибини ведення робіт, газоносності пластів, схильності вугілля до самозаймання, засобів провітрювання, інших факторів.

Найбільш ефективні способи охорони виробок для пластів з пологим і похилим заляганням приймаються з позицій гірничої геомеханіки, ендогенної пожежонебезпеки та метанообильності пластів.

Виділяють наступні способи охорони виробок:

- підтримання виробок в масиві вугілля та погашення їх за очисним вибоєм (одинарна або спарена лави);
- повторне використання виробок, що розташовані на межі виробленого простору та охороняються штучними спорудами або ціликами вугілля (при погашенні за другою лавою або при збереженні з метою вентиляції);
- повторне використання однієї виробки, яка зберігається тимчасовими ціликами вугілля або породними смугами, що споруджуються при проведенні спарених виробок (при погашенні за другою лавою або при збереженні з метою вентиляції);
- проведення виробок вприсічку (до виробленого простору вже відпрацьованих виймальних стовпів) та погашення їх за лавою;
- проведення виробок за лавою та їх збереження у виробленому просторі з погашенням після відробки виймального стовпа або з збереженням для відробки іншого стовпа для вентиляції (при суцільній і комбінованій системах розробки).

Серед порушень технології підтримання виробок виділяють такі, що сильно впливають на експлуатаційний їх стан:

- проведення виробок без залишення запасу перетину на величину зміщення гірських порід;
- залишення в підшві виробки порід, схильних до піддування;
- невідповідність геометричних характеристик кріплення (форми) характеру зміщення гірських порід по контуру виробки в процесі експлуатації;
- недостатня щільність встановлення основного кріплення та засобів його посилення;
- охорона виробок у невідповідних способах охорони гірничо-геологічних умовах;
- ремонтування кріплення в зоні впливу очисного вибою;
- неправильний вибір параметрів обраного способу охорони;
- неповна посадка порід покрівлі в лаві.

Для виробок, що проводяться вприсічку:

- малий розрив у часі між початком проведення виробки та погашенням виймального стовпа;
- неповне погашення виробки в відробленому стовпі;
- залишення вугільних ціликів менше 2,0 м якщо прийнятий такий спосіб;
- відсутність кріплення посилення при наявності в боках виробки глинистих порід;
- несвоєчасне встановлення кріплення посилення;
- недостатнє осушення підшви виробки.

Для виробок, які проводяться за лавою:

- неправильний вибір місця проведення;
- неправильний вибір параметрів штучних споруд.

Для виробок, які проводяться за виробленим простором очисного вибою:

- передчасне проведення в неущільнених обвалених породах.

Порушення технології підтримання виробок:

- неправильний вибір місця проведення виробки відносно крайової частини раніше відроблених лав на інших пластах;
- неправильний вибір границь привибійного простору лав відносно раніше проведених виробок на інших пластах;
- відсутність кріплення посилення у виробках.

Несприятливий стан виробок є вузьким місцем, він стримує розвиток виробництва та погіршує комфорт. При постійному збільшенні глибини розробки та інтенсивності відпрацювання зростає величина гірського тиску, це призводить до погіршення умов проведення та підтримання виробок. Способи та засоби забезпечення стійкості виробок виявляються часто недостатніми.

На рівні сучасного уявлення про процеси, які відбуваються в гірському масиві порід при вийманні вугільного пласта, забезпечити стійкість виробок у зоні впливу лави можна так:

- вибір найбільш оптимального розташування виробок відносно очисних робіт;
- створення спеціальних елементів, які протидіють гірському тиску або забезпечують мінімальний вплив;
- створення спеціальних методів, які зменшують концентрацію напруг в масиві навколо виробок;
- створення способів збереження, а ще краще зміцнення міцності гірських порід;
- застосування видів кріплення, що забезпечують ефективну взаємодію кріплення виробки з масивом порід в умовах дії сил гірського тиску.

Ефективність охорони виробок в певних умовах залежить від того, наскільки правильно ми це поєднаємо.

На цій основі пропонуємо такий спосіб підвищення стійкості виробок в наших умовах.

Виробки проводимо широким вибоєм, розкоска формується з боку повстання пласта, в ній встановлюється охоронна конструкція з залізобетонних плит, встановлюється арочне кріплення з посиленням його трьома анкерами.

Цей спосіб підвищення стійкості виробок може застосовуватися при пологому заляганні. Він дозволяє забезпечити підтримання необхідного перетину виробки при відробці першої лави, при повторному використанні. Це призведе до зменшення обсягів ремонтних робіт та їх вартості, покращить техніку безпеки гірничих робіт.

Обґрунтування параметрів цього способу має виконуватися на основі закономірностей змінення напружено-деформуємого стану масиву порід навколо виробки за допомогою фізичного т(математичного) моделювання, проведенням випробувань.

#### **4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМУВАННЯ МАСИВУ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБОК, ЩО ПРОВОДЯТЬСЯ НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ, ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЕЙ З ЕКВІВАЛЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Методи моделювання широко використовуються в галузях науки та техніки. В механіці підземних споруд вони дозволяють з'ясувати основні елементи механізму в процесах зрушення, деформування, руйнування порід при веденні підготовчих та очисних робіт. Одним з таких методів дослідження є моделювання в лабораторних умовах певних фізичних процесів.

Метою моделювання є відтворення та вивчення фізичного процесу на моделі, подібного до натурних умов.

Механіка гірських порід вивчає дуже великі об'єкти, ми застосовуємо моделювання з зменшенням розміру об'єктів. Гірський масив порід є складним середовищем. В різних частинах масиву при веденні робіт одночасно відбувається деформування різного роду: пружні деформації, пластичні деформації (незворотні), зміщення порід та руйнування їх з розривом суцільності. Теоретичні розрахунки деформацій в гірських породах, значень міцності та стійкості виробок часто представляють завдання, які важко вирішити. Натурні досліди відрізняються трудомісткістю та високою вартістю і вимагають тривалого часу.

В натурних умовах дуже обмежене варіювання параметрами системи, послідовністю ведення гірничих робіт та технологією, при моделюванні простежується впливання параметрів у більшому діапазоні.

За допомогою фізичного моделювання можна вивчати процеси механіки гірського масиву і порід, це не дають ні аналітичні методи, ні спостереження, ні вимірювання в натурних умовах.

Але на моделях неможна відтворити деталі об'єкту. Тому моделювання ведеться з вивченням процесів з деяким ступенем спрощення

натурних об'єктів, це суттєво полегшує опис результатів спостережень і вимірювань, дозволяя з більшим узагальненням простежувати та уточнювати механізми процесів, максимально вивчати впливання на ці процеси різних факторів.

Під час рішення задач механіки гірських порід моделюванням випробуванню підлягає серія моделей в різних масштабах. Використовують при цьому для вирішення конкретної задачі самий ефективний метод.

Найбільш вдалим для дослідження проявлення гірського тиску є моделювання на еквівалентних матеріалах (запропонований Г.М. Кузнецовим).

Метод, який дозволяє отримувати важливі відносні (кількісні) показники неоднорідного напруженого стану масива порід є оптичний метод дослідження.

Одночасну дію сил тяжкості та пружності можна прослідкувати за допомогою методу відцентрового моделювання.

Але найбільш поширеним є метод моделювання на еквівалентних матеріалах. Він застосовується для вивчення проявлення гірського тиску в очисних вибоях та підготовчих виробках; здимання порід, зрушення гірських масивів, інших фізичних процесів, які відбуваються в гірському масиві при веденні гірничих робіт.

Перевагою моделювання на еквівалентних матеріалах є вимірювання показників, які відображають напружено-деформуємий стан масиву, що в натурних умовах здійснити неможливо через недоступність ділянок гірського масиву.

Метод описується в роботах Кузнецова, Ільштейна, Шашенко, їх рекомендації використані під час виконання наших досліджень.

Суть моделювання на еквівалентних матеріалах полягає у заміненні гірських порід штучними матеріалами, фізико-механічні властивості яких задовольняють положенням теорії механічного вподобання та

забезпечують досягнення аналогії в проявленні деформацій, руйнувань, зміщень гірських порід, що відбуваються під впливом сили тяжкості самих матеріалів та відповідних привантажень.

Метод заснований на теорії механічного вподобання Ньютона. Він передбачає кінематичну, динамічну та геометричну подоби.

При забезпечення геометричного вподобання натури та моделі механічних процесів збігаються.

Моделювання повно відбиває напружено-деформуємий стан масиву в натурі. Дотримання граничних умов в моделі неможливо. Тому при моделюванні величин зсувів покрівлі та тиск на кріплення виявляються є достовірними тільки в середній частині.

Це моделювання дозволяє з великою деталізацією простежувати механізм процесів, які протікають у товщі масиву порід при посуванні вибою виробки, і особливо деформування порід з розривом їх суцільності, це виключено з інших методів моделювання.

Метод еквівалентних матеріалів є дієвим для вирішення задач механіки гірських порід.

Головне - це правильний вибір еквівалентного матеріалу під час вирішення певної задачі цим методом моделювання. Великий діапазон фізико-механічних властивостей порід важко відтворити на одному типі еквівалентного матеріалу.

Підбір і випробування еквівалентних матеріалів для моделювання спрямовані в пошук сумішей, які не мають тривалого часу схоплення та твердіння, і за своїми механічними властивостями забезпечують подібність з гірськими. При цьому коефіцієнт Пуассона та кут внутрішнього тертя повинні чисельно збігатися в еквівалентному матеріалі та породах.

Також прийнятий до випробування еквівалентний матеріал повинен відповідати певним вимогам:

- кількісні відповідності фізико-механічних властивостей матеріалу в моделі та в натурі;

– якісні відповідності прояву деформування та руйнування матеріалу в моделі та в натурі;

- технологічний характер, який зумовлює швидке та якісне виготовлення матеріалів для моделі;

– структурна міцність та деформування однорідності матеріалу по всій моделі;

- стабільність (незмінність) у часі властивостей матеріалу та його незалежність від умов середовища.

Еквівалентні матеріали повинні бути доступними та дешевими.

Матеріалами для моделювання - це кварцовий (річковий) пісок, слюда, тальк, глина, крейда.

В деяких випадках може застосовуватися дріб, гумова крихта, чавунна стружка, тирс. Цементуючими речовинами можуть бути гіпс, силікатний клей, цемент, каніфоль, парафін, технічний вазелін.

Усі речовини розділяються на групи:

- вуглеводні нафтового походження, які обладують пластичними або пружно-пластичними властивостями;

- неорганічні крихкі речовини;

- синтетичні полімери, які обладують пружно-пластичними властивостями;

- крихкі смоли природного походження.

В нашому випадку прийнята піщана парафіно-графітова суміш з технічним вазеліном.

Еквівалентний матеріал готувався так.

Кварцовий річковий пісок просіюється та промивається дуже ретельно з метою ліквідації домішок. Потім розсипається тонким шаром на металевій поверхні та сушиться протягом п'яти днів в умовах лабораторії. Щодоби він переміщується для рівномірного висихання.

Сухий пісок змішується з певною кількістю подрібненого парафіну, графіту та солідолу. Суміш ретельно переміщується, укладається в

металеву ємність з кришкою та розміщується у водяній бані, де прогрівається 2-3 години при температурі 130 С. Під час цього її декілька разів перемішують для рівномірного прогрівання.

Роботи виконуються на спеціальному стенді, який є плоскою камерою, передня стінка з оргскла завтовшки 30 мм, є система важільних домкратів. Масштаб моделі 1:50. Внутрішня поверхня камери перед формуванням моделі протирається графітовим порошком, це зменшує сили тертя на контакті "матеріал-скло". Потім передня кришка стенда загвинчується. До верхньої кромці кришки прикріплюються ребра жорсткості.

Формується модель шарами завтовшки до 10 мм відповідно масштабу моделювання. Для створення монолітності моделі заочення матеріалу проводиться так: поверхня першого шару розпушується для створення шорсткості для кращого зв'язку з іншим шаром, одразу заочується новий шар, це утворює монолітний шар. При закладанні шарів еквівалентного матеріалу з різними властивостями, вони розділяються тонким шаром крейди, це сприяє візуальному сприйняттю такої неоднорідності масиву. Ущільнення кожного шару відбувається під дією вантажу в 20 кг.

Після формування моделі породного масиву зверху прикладається навантаження 0,65 кН та діє протягом однієї години. Після навантаження знімається, забирається передня стінка стенда. На поверхню моделі наноситься прямокутна мірна сітка з розмірами комірки 2,0 на 2,0 см. В самому центрі моделі "проводиться" виробка. Висота та ширина виробки становить 3,50 та 5,0 м відповідно (в масштабі). На першому етапі випробувань встановлюється різна кількість анкерів, на другому етапі залізобетонні блоки різної ширини. Силкові характеристики приладів, які імітують роботу в моделі анкерного кріплення та охоронних елементів, задовольняють нашим умовам.

При випробуваннях прийнято технологію встановлення анкерного кріплення, яка близька до натурної, свердловина під анкер пробурюється після виготовлення моделі, в свердловину вводиться розчин шприцом, розчин відтворює дію закріплювального, далі вставляється мідний стрижень діаметром 1,0 мм, він імітує анкер. В якості розчину використовуємо силікатний клей, зусилля висмикування анкера в моделі відповідає масштабу моделі і становить 180-240 гр. Ступінь скріплення матеріалу та зусилля висмикування визначається на блоках, що вирізані з основної моделі.

Далі на стенді закріплюється передня стінка (оргскло), ребра жорсткості та за допомогою важільних домкратів масив завантажувався.

Навантаження задається з інтервалом 2,0 кг. Деформації реєструються фотоапаратом, який встановлений в одному положенні від час проведення експерименту. Якісний опис поведінки масиву будується на підставі вивчення в змінненні фіксованого квадрата сітки по фото.

## **5. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ ПОРІД НАВКОЛО ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ**

При створенні ефективних способів підтримання та охорони виробок у зоні впливу лави мають бути виявлені закономірності геомеханічних процесів навколо виробок.

Рішення задачі про напружено-деформуємий стан масиву порід навколо виробок отримується при застосуванні методів механіки суцільного масиву, механіки дискретного масиву, експериментально-аналітичними методами, в яких використовуються закономірності в поєднанні з аналітичними рішеннями. Розрахунковий метод визначається прийнятою гіпотезою прояву гірського тиску та відповідною моделлю масиву.

### **Гіпотези формування тиску навколо виробок**

Останнім часом набули поширення гіпотези, в яких пояснюють механізм деформування пластів і гірських порід та методику розрахунку значень навантажень і зсувів у виробці та навколо неї. Застосування тієї або іншої гіпотези має важливе значення з погляду прогнозу величин зміщення контуру виробок та вибір способів (засобів) їх охорони та підтримання.

Методи прогнозу величин деформування виробок пов'язані безпосередньо з гіпотезами гірського тиску. Тому розглянемо існуючі гіпотези з погляду їх застосування для повного розуміння процесу деформування масиву порід в умовах реальних способів (засобів) охорони виробок.

Гіпотези пластичного (пружно-пластичного) масиву наведені в роботах Дінніка, Феннера, Руппенейта, Лібермана, Заславського, Єржанова та Векслера. В них розвинені положення спадкової повзучості. Автори розглядають процеси деформації гірського масиву порід навколо

капітальних виробок (поза зоною гірського тиску), зовнішні умови причому приймаються статичними та заданими в умовній динаміці.

Для вирішення задач з охорони виробок важливими є ті гіпотези, в яких охоплюються процеси формування гірського тиску як поблизу виробок, так і в товщі гірського масиву на значному віддаленні, в тому числі і до поверхні землі.

Гіпотеза склепіння (Протод'яконов) не стосується великих глибин, хоча зберігає свого значення для розуміння процесів формування гірського тиску навколо виробок.

Гіпотеза сповзаючих призм (Цимбаревич) може застосовуватися при розгляданні процесів зсуву порід, на незначній відстані від пласта при слабких однорідних породах в покрівлі.

Гіпотеза плит (Слюсарев) розглядає важливі сторони процесу деформування товщі гірських порід. До них відносять гіпотези сипучого та тріщинуватого масиву.

Ці гіпотези розглядають гірський масив в статичному його стані, а механізм формування гірського тиску спрощують. Обсяг масиву при цьому обмежений. Це призводить до занижених розрахункових величин гірського тиску стосовно великих глибин (гіпотеза склепіння) та, навпаки, до завищених (гіпотеза призм).

Особливістю процесів перерозподілу тиску на значних глибинах є зменшення проявів склепінь природної рівноваги. Замість зони з обваленими гірськими породами на велику глибину маємо зону розтягування.

Гірський масив може бути пружним, пластичним, сипким, тріщинуватим та складатися з плит. Товща гірських порід може одночасно або у деякій послідовності виявляти всі ці властивості. Сьогодні ще відсутня загальна гіпотеза гірського тиску та відповідний її опис.

Отримання математичних рішень для підготовчих виробок, які знаходяться в масиві порід з неоднорідною структурою, в принципі

неможливе. Єдиний шлях ефективного вирішення цієї задачі полягає в розробленні та дослідженні комп'ютерних моделей при застосуванні чисельного методу. Різноманітні додатки таких досліджень при розробці вугільних пластів наведено в роботах Жданкіна та Новікова.

### **Аналізування чисельних методів дослідження напружено-деформуємого стану масиву порід**

У цій роботі для вирішення поставлених завдань використовуємо чисельні методи механіки твердого тіла, яке деформується. Вони дуже спільні з описом механічних процесів у масивах порід, тому що вільні від впливу факторів, які відображають специфіку ситуацій при гірничих роботах. Ці методи дозволяють досліджувати механічні властивості в більшому діапазоні та дають можливість якісного і кількісного прогнозування проявлення гірського тиску.

Серед таких методів можна віділити методи кінцевих, дискретних та граничних елементів, метод сіток, прямі методи математичної фізики.

Досить простий для використання метод Галеркіна. В ньому компоненти напруг і переміщень масиву представляються як подвійні суми тригонометричних функцій, але тільки для однорідного масиву.

Метод кінцевих елементів для вирішення задач геомеханіки застосований Синелайром, Такато та Еверлінг запропонували метод сітчастої моделі для дослідження картини розподілення напруг в масиві порід.

Основи методу граничних елементів викладені у роботах Векслера, Колоколова, Жданкіна, Петухова, Зубкова, Новікова, Здвіжкової.

Теоретичні положення методу кінцевих елементів сформульовані в роботах Розіна, Зенкевича, Сегерлінда, Стренга, а застосування його при вирішенні задач механіки порід докладно описано в роботах Амусіна, Фадєєва, Єржанова та Карімбаєва.

Найбільш ефективним стосовно цих досліджень є метод кінцевих елементів, він дозволяє моделювати різні неоднорідності масиву порід: шаруватість, анізотропію порід, тріщинуватість, явища фільтрації в породах. Розроблені спеціальні прийоми для використання в моделі взаємодії кріплення виробки з гірським масивом порід.

Складний виріз та будь-яка кількість таких вирізів не є перешкодою у використанні методу. Отримання рішення про розподілення напруг у ціликах вугілля при камерній системі не становить для методу складності. Моделювання обвалених порід можна легко здійснити в методі. Необхідно лише обґрунтувати вибір умовних пружних характеристик обвалення неуцільнених гірських порід на основі додаткового дослідження.

Метод може застосовуватися не тільки для вирішення двовимірних задач з теорії пружності. Просторова область гірського масиву порід може бути також апроксимована кінцевими елементами, але не трикутними, а тетраедричними.

Є також можливість отримання рішень нелінійної постановки, коли масив деформується непружно, можливі пластичні деформації або крихке його руйнування. При обчисленні нелінійні рішення виглядають як послідовності пружних рішень.

Перевагами використання методу кінцевих елементів є:

- властивості матеріалу суміжних елементів не обов'язково однакові. Це дозволяє використовувати метод у випадках коли досліджуємі тіла складаються з кількох різних матеріалів.

- криволінійна область апроксимовується за допомогою прямолінійних елементів, може бути описана точно криволінійними елементами. Тобто, методом можна користуватися для областей з різною формою границь.

- розміри елементів можуть змінюватися. Це дозволяє збільшити або зменшити розбиття сітки на елементи за потреби.

- за допомогою методу легко розглядати граничні умови з розривним навантаженням поверхні та змішані граничні умови.

В результаті аналізу методів дослідження стану гірського масиву зробити висновок, що доцільним для застосування при розрахунках напружено-деформуємого стану масиву навколо виробок в зоні впливу лави є метод кінцевих елементів.

Досвід роботи шахт показує, що підтримання виробок у зоні впливу лави дуже складни, трудомісткий та вартісний процес. Поєднання значної кількості факторів (взаємний вплив лави та виробки, кут нахилу вугільного пласта, структурні особливості порід масиву в межах відробленої ділянки, порядок відробки родовища) визначають труднощі, що пов'язані з прогнозуванням прояву гірського тиску в очисному вибої та забезпеченням нормального стану виробок в зоні лави.

Нами досліджено змінення напружено-деформуємого стану масиву порід навколо лави, які пов'язані з постійним посуванням очисного вибою. На основі схеми, яка є середнім перетином лави, що навантажена рівномірно розподіленим навантаженням ваги порід, методом послідовно виконуються розрахунки, у яких моделюється лава різних розмірів. Збільшенням розмірів моделюється відхід лави від частини порід, що обвалюються. На кожному кроці визначаються компоненти напруг, деформування та переміщення у пружній площині, яка ослаблена вирізами різних розмірів.

## **6. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИБРАНОГО СПОСОБУ ОХОРОНИ ТА ПІДТРИМАННЯ**

Проведення виробки проводимо комплексною прохідницькою бригадою. Режим роботи прохідницього вибою - чотири зміни, тривалість кожної зміни шість годин – три зміни для проведення виробки, одна для ремонтних і підготовчих робіт. В цю зміну проводиться ремонтування машин, механізмів, електроапаратури, нарощування протипожежного та вентиляційного трубопроводів, конвеєра, осланцювання виробки, настилка рейкового шляху, доставлення матеріалів для кріплення, необхідного обладнання. В інші зміни виробка проводиться та закріплюється. Забезпечуємо два цикли за зміну.

Проведення виробки здійснюється прохідницьким комбайном КСП-32. Він здійснює відбійку гірських порід та завантаження її. Відбита порода через стрічковий перевантажувач завантажується на стрічковий конвеєр типу 1ЛТ-800Д, ним транспортується до бункера, далі завантажується в вагонетки типу ВГ-2,5, які знаходяться під бункером. Після посування вибою виробки на 1,60 м комбайн відганяється назад від вибою та становлюється основне аорчне кріплення, додаткового встановлюються три анкери довжиною 3,0 м відповідно до раніше обґрунтованих параметрів та затягується покрівля виробки.

Закріплення виробки основним кріплення КМП-А3 виконується так:

- після оглядання вибою виробки та обирання породи по контуру вибою прохідники розчищають місця для встановлення стійок (ніжок), закладають із відповідно до паспорту проведення та кріплення;
- стійки підносять і встановлюють по черзі в підготовлені лунки, скріплюють їх міжрамними стяжками з попередньо встановленою аркою кріплення на рівні 0,80 м нижче верхньої кромки стійки;

- далі підноситься верхняк (третій елемент кріплення), з полиці під покрівлею верхняк в заданому положенні фіксується на стійках, з'єднується зі стійками арки хомутами з дотримуванням в місцях з'єднання величини нахльстку в 400 мм;

- елементи кріплення в кожному вузлі затягуються гайками за допомогою стандартного ключа з довжиною рукояті 0,45 м (для забезпечення ричагу).

- після затягування проводиться також поєднання верхняка верхньою міжрамною стяжкою з верхняком попередньо встановленої рами, у вузлах сполучень елементів між собою встановлюються дерев'яні розпірки діаметром 10,0 см. Перевіряється правильність установа рами, після перевірки вона розклинається в породах. Потім затягується покрівля і боки виробки суцільно стяжкою;

- при затягуванні покрівлі проводиться ретельне забучування подрібненою породою закріпного простору, при наявності значних порожнин в них викладаються дерев'яні костри.

На рамах кріплення, які розташовані за 10-12 м від вибою, прохідники підтягують гайки на елементах кріплення, надалі їх необхідно регулярно підтягувати в міру їх ослаблення.

Сьогодні більше 80% анкерів використовують з синтетичними швидкотвердіючими заповнювачами. 90% з них закріплюються по всій довжині, 10% мають "точкове" закріплення. Сталеполімерні анкери відрізняється від інших видів використанням високоміцних сумішів (смоли органічного та мінерального походження) для закріплення штанги в породі. Такі анкери здатні миттєво після встановлення вступати в активну роботу з гірським масивом та забезпечувати несучу здатність у тріщинуватих та обводнених гірських породах. Переваги таких анкерів перед іншими стали причиною їх застосування. Для буріння використовується перфоратор типу ПТ-54.

Процес встановлення сталеполімерних анкерів полягає в наступному: в шпур вводиться дві ампули, після в ньому розміщується армуючий стрижень, який обертається ручним електросвердлом. Обертання стрижня проводиться протягом 30-45 с. Під час цього оболонка ампул повністю руйнується, компоненти їх змішуються. Для запобігання їх витікання, при встановленні анкерів вгору, на штангу надівається гумова манжета. Через 1-4 хв. на кінці стрижня розміщують опорні елементи, натяг анкера здійснюється через 15-30 хв. після закінчення робіт. Потім виконуються роботи, які пов'язані з проведенням та кріпленням розкоски (ширина 2,50 м), укладаються залізобетонні плити. Виконується затягування боків виробки. Після цикл повторюють.

Після відробки першої лави в виробці виконують незначний ремонт(за потреби): підривання порід в підшві, вирівнювання рейкового шляху, замінення затягування. Виробка зберігає необхідний перетин при відробці першої лави та використовується повторно, це виключає необхідність проведення нової.

Провітрювання вибою виробки здійснюється вентилятором місцевого провітрювання. Повітря подається прогумованими вентиляційними трубами діаметром 0,8 м (в привибійній частині 0,6 м). Контроль за кількістю повітря, що надходить у вибій, здійснюється спеціальною апаратурою.

Автоматичне контролювання вмісту метану на здійснюється апаратурою типу АМТ-3У, датчики автоматичних стаціонарних приладів контролювання вмісту метану розташовується так: один у привибійному просторі виробки під її покрівлею на відстані від 3,0 до 5,0 м від вибою на протилежній вентиляційному трубопроводу стороні; другий у вихідному виробки струмені повітря на відстані від 10,0 до 20,0 м від початку виробки під її покрівлею на протилежній вентиляційному трубопроводу стороні.

У разі порушення нормального режиму провітрювання для захисного відключення від електроенергії застосовується спеціальна апаратура "АЗОТ". Ця апаратура застосовується з датчиком, який встановлюється у вентиляційній трубі на відстані не більше 15,0 м від прохідницього вибою.

Контролювання за якістю закріплення анкерів проводиться переносним гідравлічним приладом. Контролювання якості натягу анкерів здійснюється динамометричним ключем механічної дії. Вимірювання їх натягу в часі проводиться гідравлічним динамометром.

Загальний аналіз даних виміру зсувів масиву порід навколо виробки дозволяє зробити висновки.

Зміщення контуру порід не відразу виявляються після встановлення постійного кріплення, це відбувається через деякий час, який визначається, стійкістю порід навколо виробки, геометричними параметрами самої виробки, місцем знаходження лави.

При проведенні та підтриманні виробок у зоні впливу лави можна виділити такі характерні періоди: початкові, інтенсивні зсуви масиву порід та ті, що встановилися. Дані вимірювань показують, що тривалість інтенсивних зсувів становить 2-3 дні.

Швидкість зміщення масиву порід в інтенсивному періоді характеризується великими значеннями – 15 см/добу.

У складних умовах цей спосіб забезпечує уповільнення початку зміщення порід покрівлі та підшви з значним зменшенням величини зсувів.

При використанні цього способу ремонтні роботи виконуються один раз після проходу лави. При інших способах охорони та підтримання виробок їх ремонтують два або три рази перед проходом лави та після.

Результати вимірювань та моделювання дозволяють побудувати загальний графік змінення вертикальної конвергенції у виробці, це дає можливість нам оцінити та порівняти застосування технічних рішень, які були отримані при різних експериментах.

Результати практично збігаються (розбіжність становить 10%). Це підтверджує, що ми правильно вибрали модель, та надалі можна обґрунтувати параметри цього способу охорони та підтримання виробки для певних гірничо-геологічних умов залягання.

Цей спосіб охорони та підтримання виробок має значні переваги в порівнянні зі способами, які застосовуються на підприємстві. Економія коштів досягається за рахунок зменшення витрат на підтримання виробки в період її експлуатації, зниження обсягів робіт з ремонту, скорочення обсягу проведення. Економічний ефект від застосування цього способу розраховується за прямими витратами.

Враховуються витрати на:

- проведення нової виробки;
- ремонтування виробки, яка підтримується;
- встановлення кріплення підсилення;
- проведення розкоски та її кріплення;
- встановлення додаткового анкерного кріплення.

Витрати на підтримання виробок цим способом порівнюються з витратами на підтримання виробок шахтним способом і проведенням нової виробки (на 1 п.м довжини).

Загальний ефект від застосування способу в підготовчих складається з ефекту його застосування за всіма виробками шахти.

Натурні спостереження показують, що величина і швидкість зміщення порід навколо виробок та тривалість зміщень при такому способі охорони та підтримання в 1,50 рази менше, ніж у того, що застосовується на шахті.

Параметри прийнятого способу охорони та підтримання: основне кріплення - арочне податливе, додатково встановлюється анкер довжиною 3,0 м з боку порідного масиву на висоті 2,0 м від підосви під кутом 300 градусів до горизонтальної поверхні, інший анкер з боку очисного вибою на висоті 3,0 м від підосви під кутом 135 градусів, третій анкер

встановлюється в покрівлі зі зміщенням від центру виробки на 0,50 м під кутом 75 градусів. З боку очисного вибою в розкисці встановлюємо охоронну споруду з залізобетонних плит (ширина 2,50 м). Це є достатнім для підтримання виробок в доброму експлуатаційному стані при використанні їх повторно.

## **7. ВИБІР ПРОХІДНИЦЬКОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИРОБОК В ПОРОДАХ РІЗНОЇ МІЦНОСТІ**

Зараз більшість виробок малого перетину проводять вручну, це обмежує швидкість їх проведення. Шахтарі піддаються значному ризику при знаходженні в привибійному просторі. Гірничі машини та прохідницьке обладнання, яке використовуються при проведенні виробок має великі габаритні розміри, це не дозволяє забезпечувати проведення виробок малого перетину.

Для механізації трудомістких робіт та скорочення терміну проведення виробок малого перетину необхідно розробити такий механізований комплекс, який в короткий термін буде проводити горизонтальні та похилі виробки малого перетину.

Для забезпечення механізації проведення виробки необхідне обґрунтування компонування комплексу:

- необхідне розроблення такого прохідницького обладнання, яке буде забезпечувати проведення виробок малого перетину в гірських породах різної міцності;

- кріплення вибою з боку покрівлі та боків виробки необхідно здійснювати елементами механізованого комплексу (забезпечення безпеки від раптового обвалювання діляниць масиву) використовуючи крокуюче механізоване кріплення;

- конструкція комплексу має складатися з вузлів, які є взаємозамінними;

- транспортування відбитої породи від вибою доцільно здійснювати конвеєрним транспортом (стрічковим або скребковим) або скреперною доставкою;

- необхідно для провітрювання вибою використовувати вентилятор місцевого провітрювання з використанням гнучких вентиляційних труб, які монтуються на кріпленні;

- для забезпечення кріплення необхідно використовувати рамне кріплення, яке швидко встановлюється.

Головною метою компонування прохідницького комплексу є проведення виробки малого перетину в стислий термін. Руйнування породи відбувається прохідницьким обладнанням, кріплення виробки забезпечується застосуванням крокуючого кріплення поблизу вибою. Стрічкові конвеєри, що встановлюються послідовно вздовж виробки, здійснюють транспорт відбитої маси. Вентилятор місцевого провітрювання забезпечує подачу повітря по гнучкому вентиляційному трубопроводі, який змонтований на рамному кріпленні.

Проведення виробки малого перетину змінює напружений стан гірського масиву, це відбувається внаслідок того, що порода над виробкою не має опору, її вага перерозподіляється на сусідні породи масиву. Навколо виробки виникають напруги стиснення в боках і розтягуючі напруги в підшві і покрівлі. Це збільшує ризик раптового вивалу порід та призводить до травмування прохідників, які здійснюють прохідницькі роботи.

При проведенні горизонтальних (похилих) виробок малого перетину без застосування крокуючого кріплення, незакріпленими залишаються покрівля, підшва та боки виробки. Внаслідок цього поблизу контуру виробки збільшується концентрація напруг. Коли їх величина перевищує межу міцності гірських порід, відбувається руйнування порід або пластичні їх деформації. Ця область спричиняється перерозподілом напруг та залежить від форми виробки та найбільшого її розміру (лінійного) перетину. Найбільша величина концентрації напруг проявляється в кутах виробки.

Для уникання руйнування незакріплених ділянок масиву гірських порід у вибої при проведенні виробки використовуємо крокуюче кріплення, яке призначене для тимчасового підтримання покрівлі над

обладнанням та прохідниками, це дозволяє зменшити небезпечні ситуації при перебуванні у зоні ризику.

На основі встановлених для певних умов закономірностей змінення напружено-деформуємого стану масиву порід при застосуванні заходів, які спрямовані на зменшення негативного впливання підвищеного гірського тиску, було вирішено актуальне завдання з підвищення стійкості виробок, що розташовані на великих глибинах, в зоні впливу очисного вибою.

Практичні та наукові результати полягають у наступному:

Виконаний аналіз діяльності підприємства дозволяє визначити мету, сформулювати завдання дослідження, вони полягають в обґрунтуванні можливого використання підготовчих виробок повторно. Аналіз показує те, що причина незадовільного стану виробок в невідповідності заходів, що застосовуються для підтримання та охорони виробок, це проявляється в значних зсувах контуру виробки, особливо її покрівлі.

Встановлені основні закономірності розвинення деформацій масиву порід навколо виробки, вони схильні до впливу очисних робіт в лаві. Деформування перетину виробки в зоні впливу очисних робіт в лаві відбувається несиметрично, переважають вертикальні зсуви з перекосом кріплення у бік падіння порід. Це відбувається в два етапи: при розташуванні лави на відстані 300-50 м і на відстані 50-0 м, інтенсивність вертикальних зсувів в другому випадку в 5 разів вище.

В умовах шахтни встановлені основні закономірності деформацій елементів кріплення, визначений показник стійкості виробок, який становить 0,57 поза зоною впливу очисного вибою та 0,14 в зоні впливу очисного вибою.

На моделях з еквівалентних матеріалів доведено, що при здійсненні всіх запропонованих заходів зменшується зміщення контуру виробки та поліпшується геомеханічна ситуації навколо виробки на сполученні її з очисним вибоєм, це підтверджує переваги такого способу охорони та підтримання виробки на значних глибинах розробки.

На основі застосування математичного моделювання процесів, що відбуваються в масиві порід навколо сполучення виробки з лавою, були встановлені закономірності змінення напружено-деформуємого стану гірського масиву в залежності від властивостей елементів способу охорони, це дозволило для умов підприємства визначити оптимальні параметри способу для запобігання негативного впливання гірського тиску лави. Також визначений крок обвалювання основної покрівлі в очисному вибої, який становить 25 м.

Розроблено рекомендації щодо підвищення стійкості виробок, які експлуатуються на значній глибині розробки.

Певні властивості порід в покрівлі та підшві визначають тип механізованого кріплення і його несучу здатність. Для нашої конструкції крокуючого кріплення прохідницького обладнання складена номограма для визначення основних параметрів домкратів пересування та гідростійок крокуючого кріплення для різних варіантів навантаження прохідницького обладнання.

Дослідження механізованого крокуючого кріплення для визначення раціональних його параметрів (при зміненні міцності порід, стійкості покрівлі виробки, навантаження перекриття кріплення) засновані на рівнянні балансу сил при переміщенні навантаженої секції цього кріплення.

Представлені варіанти навантаження для крокуючого кріплення прохідницького обладнання при проведенні виробок малого перетину.

Розглянуті основні операції прохідницького циклу дозволяють нам розробити певний алгоритм з урахуванням мінімальної кількості послідовних операцій циклу та збільшення кількості операцій, які проводяться паралельно. Це необхідно для зменшення терміну робіт з проведення виробки та виконання вимог, які висуваються до роботи прохідницького обладнання: міцність гірських порід, стійкість у покрівлі,

глибина ведення робіт, безпека та швидке проведення виробок. При цьому повинні бути мінімальні витрати часу на транспорт та монтаж комплексу.

*Дослідження залежностей швидкості проведення виробки малого перетину від терміну виконання основних операцій прохідницького циклу та параметрів прохідницького обладнання.*

При встановленні структури імітаційного моделювання роботи прохідницького обладнання у вигляді проведення виробуи малого перетину були вибрані вихідні дані для імітаційної моделі.

При встановленні структури імітаційного моделювання необхідно представити послідовність дій в роботі прохідницького обладнання. Певний алгоритм моделювання наведений в додатках. Моделювання проводили за допомогою програмного забезпечення Mathcad.

Розглянуті етапи алгоритму. Спочатку (блок 1) вводяться вихідні дані, далі (блок 2) звіряються величини фактичного значення струму на виконавчому органі прохідницького обладнання з номінальним, далі (блок 3) перевіряється наявність обвалених конструкцій, далі (блоки 4-6) перевіряється відповідність виконавчого органу обладнання умовам у привибійному просторі, далі (блоки 7-9) розраховується час на замінення виконавчого органу для відповідання умовам у привибійному просторі, далі (блоки 10, 11) розраховується технічна продуктивність змінних виконавчих органів, далі (блоки 12-14) розраховується час оброблення вибою за цикл при використанні змінних виконавчих органів, далі (блок 15) перевіряється відповідність руху вибою за цикл, далі (блок 16) перевіряється наявність суміщених операцій при проведенні збійки, далі (блоки 17, 18) розраховується час оброблення вибою за цикл, далі (блок 19) розраховується час циклу пересування (крокування) механізованого кріплення, далі (блоки 20, 21) розраховується час кріплення збійки, далі (блок 23) розраховується час підготовчих операцій, далі (блоки 22, 24) розраховується сумарний часі циклу, далі (блок 25) розраховується швидкість проведення за цикл; далі (блок 26) перевіряється відповідність

повного виконання циклів при проведенні робіт, далі (блок 27) розраховується новий цикл прохідницьких робіт, далі (блок 28) розраховується остаточний час проведення збійки при проведенні прохідницьких робіт.

По результатам моделювання видно, що на величину швидкості проведення значний вплив надають міцність порід, крок пересування кріплення прохідницького обладнання, частота замінення виконавчого органу внаслідок зношення (за наявності неоднорідного складу гірських порід).

Аналіз показує, що швидкість проведення виробки в породах з міцністю до 2 та при кроці пересування кріплення прохідницького обладнання 1,0 м в декілька разів вище, ніж при кроці пересування кріплення прохідницького обладнання 0,5 м, та в 4 рази вище в порівнянні з проведенням виробки вручну при кріпленні виробки основним кріпленням кожні 0,5 м.

Аналіз показує, що в інших гірничо-геологічних умовах, коли міцність порід 2–6, з'являється необхідність змінення виконавчого органу кожні 0,5 м, швидкість проведення в 3 рази вища, ніж швидкість проведення вручну по породах з міцністю 2 та використанням мінімуму ручних інструментів.

Імітаційне моделювання показує, що на швидкість проведення виробки малого перетину значно впливає міцність породи, частота встановлення кріплення в виробці, яка залежить від стійкості порід покрівлі та боків виробки, частота операцій із замінення виконавчого органу на обладнанні.

Область застосування прохідницького обладнання при проведенні виробки малого перетину ( $2,25 \text{ м}^2$ ) з урахуванням часу на монтаж-демонтаж (12 годин) в порівнянні з проведенням вручну по породах міцністю до 2 в виробках з нестійкими породами покрівлі, кроком встановлення кріплення кожні 0,5 м починається з виробок довжиною

понад 10 м та обмежується критерієм ефективності обладнання з завантаженням та транспортуванням породи, йе підтверджується результатами моделювання. Залежність швидкості проведення від міцності порід виражається, як правило, лінійною функцією.

Теоретично були обґрунтовані необхідні зусилля для пересування частин прохідницького обладнання (крокуючого кріплення). Це визначає тривалість циклу робіт величина зусилля пересування кріплення повинна бути не менше 400 кН, величина коеф.опору пересування кріплення виражається залежністю від міцності порід і знаходиться в межах 0,4-6,0, це дозволяє оцінювати вплив навантаження елементів комплексу з боку прилеглого масиву порід при різній їх міцності на основний параметр.

Складена номограма для визначення діаметрів домкратів пересування та гідростійок крокуючого кріплення прохідницького обладнання залежно від певних гірничо-геологічних умов залягання.

Визначено сферу застосування прохідницького обладнання при проведенні виробок малого перетину ( $2,25 \text{ м}^2$ ) в порівнянні з проведенням вручну по породах міцністю до 2 у виробках з нестійкими породами в покрівлі, кроком встановлення кріплення кожні 0,5 м, яка починається після проведення 10 м та обмежується критерієм ефективності обладнання завантаження породи. Це підтверджується результатами моделювання. При цьому залежність швидкості проведення від коефіцієнта міцності є лінійною.

### **Етапи моделювання роботи крокуючого кріплення**

Основні параметри прохідницького обладнання залежить від зусиль пересування секцій крокуючого кріплення при обробці прохідницького вибою та необхідності дуже швидкого закріплення виробленого простору. Передбачаються експериментальні дослідження пересування крокуючого кріплення в лабораторних умовах на стенді, який імітує змінення вертикальних і бічних навантаження, які діють з боку порід покрівлі та боків виробки.

При подальшому перерахунку значень коефіцієнта пересування секцій крокуючого кріплення прохідницького обладнання, які були отримані на стенді, у подібні фактичні значення під час проведення прохідницьких робіт, необхідно встановлювати масштабний коефіцієнт.

Досліди взаємодії прохідницького обладнання з масивом (багатофазне середовище) проводиться за допомогою масштабного моделювання.

Отримується вихідна інформація про процес пересування крокуючого кріплення на підставі законів механіки, які характеризують процес, енергетичного балансу, рівнянь руху, розмірних (безрозмірних) параметрів, які визначають процес.

Отримуються критерії подібності аналізом рівнянь та розмірностей з урахуванням законів механіки.

Встановлюються масштабні залежності індикаторів подібності, зв'язуються масштаби величин, які входять до критеріїв подібності.

Визначаються параметри моделі за інформацією про параметри оригіналу.

Отримуються формули, які визначають закономірність переходу від моделі до оригіналу.

Виготовляється масштабна модель (проектування, розрахунки, безпосереднє виготовлення).

Перевіряється відповідність моделі оригіналу за допомогою методу експериментів (з масштабними моделями).

Проводяться експерименти на моделі з визначенням параметрів відповідно до задач моделювання.

Прохідницьке обладнання може використовуватися при виконанні прохідницьких робіт на шахті. Можливі додаткові умови його застосування:

- проведення допоміжних виробок (вентиляційних збіжок).
- проведення виробок під час розвідки родовищ корисних копалин.

- проведення допоміжних виробок (при проведенні спеціальних виробок).
- будівництво підземних об'єктів під трасами та міськими вулицями.
- проведення обвідних каналів при боротьбі із затопленням під час повеней.
- будівництво підземних об'єктів у центральній частині міст.
- будівництво спеціальних виробок під час ліквідації аварій.

Гірські породи, в яких проводяться такі об'єкти можуть бути представлені слабостійкими гірськими масивами з міцністю порід до 2, а у вибоях при спорудженні допоміжних (спеціальних) виробок породами з міцністю до 2, але з прошарками міцних порід у вигляді вапняка, піщаника, кварцового піщаника до 6. Саме тому ми розглядаємо такі конструкції, параметри яких були визначені на основі теоретичних та експериментальних досліджень. При певних умовах використання прохідницького обладнання припускається взаємодія виконавчого органа з вугіллям та м'якими породами, так і з міцними породами. Тому конструкція прохідницького обладнання, яка забезпечує проведення виробки малого перетину, містить різцеві коронки (ударники), здатні працювати в режимі або відбійного молотка, або перемикатися на режим буріння.

В додатках розглянуті конструкції прохідницького обладнання та можливі модифікації виконавчих органів.

В якості породоруйнівного інструменту виконавчого органу прохідницького обладнання під час проведення робіт в міцних породах необхідно вибирати ударники та відбійні молотки для більш ефективного руйнування поверхні прохідницького вибою. В гірських масивах, які включають глинисті або в'язкі породи, виконавчі органи можуть «в'язнути» в масиві таких порід, тому повинна застосовуватися конструкція перфоратора-ударника, який здатний працювати в двох режимах: відбійним молотком (ударне руйнування) та перфоратором (ударно-

поворотне руйнування). Обертання інструменту в перфораторі-ударнику вмикається на нетривалий час для звільнення затиснутої в гірському масиві піки.

В сприятливих умовах при руйнуванні міцних порід використовується ударне буріння, при якому на руйнівний інструмент передається ударний імпульс. В таких умовах роботи елементи храпового колеса знаходяться в розсунутому стані та пружинами притискаються до корпусу обладнання. У цей момент воно не входить у зчеплення із храповим колесом, гумові прокладки перекривають зазори між елементами.

Коли в момент руйнування вибою інструмент заклинюється в масиві, то для руйнування твердих включень необхідно вмикати на деякий час режим перфоратора, цим звільняється інструмент перфоратора-ударника завдяки використанню поворотного механізму. При такій роботі перфоратора-ударника вмикання ударно-поворотного буріння відбувається відкриттям крана. Пружини між корпусом та елементами обладнання розтягуються, сегменти храпового колеса навпаки зсуваються та стають єдиним цілим при нагнітанні стисненого повітря. Після того, як собачки входять в зчеплення з храповим колесом, здійснюється повертання інструменту.

Після звільнення затиснутої у масиві піки ударник виходить в нормальний режим роботи. При цьому передається тільки ударний імпульс. Перфоратори-ударники в прохідницькому обладнанні можна ефективно використовувати для проведення допоміжних (спеціальних або вентиляційних) виробок.

За результатами теоретичних та експериментальних дослідів пропонуємо цю конструкцію прохідницького обладнання для проведення виробок малого перетину та інших гірничих виробок на шахтах і рудниках. Може також використовуватися в гірничорятувальній справі при ліквідації

аварій в разі необхідності в максимально стислі терміни проводити збійки для евакуації заблокованих в завалах робітників.

Технічним результатом використання такого обладнання є збільшення швидкості проведення виробок і особливо підвищення безпеки ведення робіт в прохідницькому вибої.

Комплекс прохідницького обладнання включає в себе прохідницький комбайн, закріплений на передній опорі маніпулятор для встановлення змінних виконавчих органів, крокуюче кріплення. Таке кріплення складається з гідродомкратів (чотирьох), перекриттів, основи, гідроциліндрів пересування, конвеєра кріплення. В передній частині комбайн обладнаний лапами, які загрибають зруйновану породу, в задній частині розташований стрічковий конвеєр. За комбайном встановлюються перевантажувачі (стрічкові). У верхній частині виробки підвішуються вентиляційні труби. На задній частині кріплення встановлена лебідка. В комплект рамного кріплення, яке швидко встановлюється, входить стійка, центральна стійка, дві частини верхняка (ліва і права), затяжка. Кріплення виробляється з легких сплавів.

Прохідницьке обладнання забезпечує швидкісне проведення виробок малого перетину. Руйнування масиву гірських порід різної міцності здійснюється прохідницьким комбайном змінними виконавчими органами, які змонтовані на маніпуляторі, що розташований на передній поворотній опорі основи крокуючого механізованого кріплення. Кріплення забезпечує закріплення привибійного простору виробки з боку боків та покрівлі.

Розпір перекриттів у покрівлю виробки здійснюється чотирма гідродомкратами, які встановлені на основі кріплення. Крокування механізованого кріплення здійснюється за допомогою гідродомкратів пересування за визначеною схемою. Нагрибаючими лапами зруйнована гірська порода перекидається конвеєром на стрічкові перевантажувачі, які встановлені послідовно вздовж всієї виробки.

Вентилятор місцевого провітрювання забезпечує подачу свіжого повітря по гнучким вентиляційним трубам, які змонтовані під покрівлею виробки на рамному основному кріпленні.

Закріплення покрівлі та боків виробки, що проводиться, забезпечується шляхом встановлення рамного основного кріплення з затягуванням. Транспортується кріплення по виробці до місця встановлення за допомогою лебідки в складеному стані. Це кріплення складається з верхняка, бічних та центральних стійок. Монтаж кріплення здійснюється спеціальним установником. Лебідкою також здійснюється доставлення допоміжних матеріалів.

Переміщення прохідницького обладнання під час проведення виробки здійснюється за допомогою крокуючого кріплення крокуванням секцій. Для цього використовуються гідростійки та гідродомкрати пересування. Переkritтя кріплення в передній частині опускається, сама передня частина висувається на вибій, далі переkritтя цієї частини піднімається та упирається в покрівлю виробки. Опускається переkritтя задньої частини кріплення, ця частина пересувається вперед (до передньої частини). Піднімається переkritтя задньої частини до упирання в покрівлю виробки.

При проведенні таких прохідницьких робіт необхідно забезпечувати високу швидкість монтажу та демонтажу, можливість ручного доставлення вузлів обладнання у важкодоступні ділянки шахти. Таким вимогам відповідає вибране нами крокуюче кріплення, яке складається з частин (однотипних), маса кожної не перевищує 200 кг.

На прохідницькому комбайні змінні виконавчі органи змінюються в залежності від вибою. Виконавчий орган у виді різцевої коронки використовують, коли прохідницькі роботи ведуть по вугіллю (м'якій породі), для руйнування міцних включень застосовують ударник, дискова пила використовується для різання сталевих перешкод. Коли прохідницькі роботи ведуть в таких умовах, то слід приймати в якості транспортних

установок високопродуктивні стрічкові перевантажувачі, це забезпечує високу продуктивність. Коли роботи ведуться у вибої, який включає міцні гірські породи, то продуктивність руйнування незначна. В таких умовах доцільно використовувати доставку скреперною установкою та немає необхідності проводити суцільну затяжку по контуру виробки.

Ця конструкція прохідницького обладнання дозволяє підвищити швидкість проведення виробки малого перетину та підвищити безпеку праці при веденні прохідницьких робіт.

### **Обґрунтування варіантів компонування виконавчих органів прохідницького обладнання**

Типові конструкції прохідницького обладнання, експериментальні дослідження моделі крокуючого механізованого кріплення, теоретичні дослідження способів руйнування прохідницького вибою імітаційним моделюванням дозволили розробити методику обґрунтування варіантів компонування виконавчих органів прохідницького обладнання технічними засобами для проведення виробок у певних гірничо-геологічних умовах залягання.

На першому етапі уточнюємо параметри компонування виконавчих органів прохідницького обладнання технічними засобами.

#### **Варіант 1.**

- визначаємо міцність порід, тріщинуватість і блочність породного масиву, параметри прошарків (при наявності).

- при міцності більше 3 вибираємо перфоратор-ударник в якості породоруйнівного інструменту виконавчого органу прохідницького обладнання.

- визначаємо величину енергії удару та потужність перфоратора-ударника.

- розраховуємо продуктивність руйнування для певної схеми відробки вибою: робиться центральний вруб на вибої з урахуванням максимальних тріщин, потім оброблюємо вибій сколом.

- розраховуємо час оброблення вибою.

## Варіант 2.

- визначаємо міцність порід, тріщинуватість і блочність породного масиву, параметри прошарків (при наявності).

- при міцності менше 3 вибираємо різцеву коронку з гідравлічним приводом в якості породоруйнівного інструменту виконавчого органу прохідницького обладнання.

- визначаються переважна величина потужності коронки.

- розраховуємо продуктивність руйнування для певної схеми відробки вибою: для вугілля – вертикально, для порід та прошарків – горизонтально.

- розраховуємо час оброблення вибою.

На другому етапі визначаємо тип кріплення зони вибою та кріплення всієї виробки.

- визначаємо параметри та характеристики гірських порід в покрівлі.

- уточнюємо параметри привибійного кріплення: для стійких порід в покрівлі перекриття крокуючого кріплення встановлюється в наділеному виді, затягування покрівлі застосовується тільки у місцях порушення суцільності масиву порід, при тріщинуватій покрівлі використовуємо повну комплектацію крокуючого кріплення та визначаємо крок пересування обладнання.

- визначаємо час виконання основних проїздів прохідницького циклу (оброблення вибою, крокування механізованого кріплення, встановлення осноаного рамного кріплення, підтягування стрічкового конвеєра, нарощування гнучких вентиляційних труб).

- визначаємо час роботи прохідницького обладнання;

- остаточно вибираємо конструкцію основних елементів прохідницького обладнання, уточнюємо перелік необхідних операцій, складаємо циклограму роботи прохідницького обладнання.

Конструкція прохідницького обладнання та методика розрахунку їх параметрів дозволяє достатньо точно розрахувати витрати часу виконання робіт прохідницького циклу.

### **Обґрунтування застосування прохідницького обладнання при основних прохідницьких операціях**

Виконанням попередніх розрахунків доведено ефективність використання прохідницького обладнання в порівнянні з проведенням виробок малого перетину (спеціальних виробок) з використанням робочої сили та відбійних молотків з закріпленням деревом.

Вирішуючі це завдання пропонуємо використовувати імітаційне моделювання. Алгоритм програми представлений у додатках.

Програма передбачає обґрунтування параметрів вихідних даних: перетин виробки в проходці; міцність порід; щільність гірської маси; кут нахилу виробки; довжина виробки; посування вибою за цикл; число циклів; тип кріплення (анкерне чи рамне); тип виконавчого органу прохідницького обладнання (корончастий, ударний, гідравлічні ножиці, дискова пила).

При встановленні структури імітаційного моделювання представляємо послідовність виконання процесів при моделюванні роботи прохідницького обладнання.

Прохідницьке обладнання складається із швидкозбірних вузлів, це скорочує час проведення виробок малого перетину в масиві порід певної міцності та покрівлі різної стійкості, підвищує безпеку праці при веденні прохідницьких робіт у порівнянні з роботами, які виконуються вручну.

## ВИСНОВКИ

- розроблено конструктивне рішення прохідницького обладнання, яке забезпечує швидке проведення виробки малого перетину в певних гірничо-геологічних умовах.

- обґрунтовано методику використання прохідницького обладнання.

- складена та прийнята для застосування методика розрахунку параметрів прохідницького обладнання, яка включає розрахунок швидкості закріплення виробки, величину діаметра робочих циліндрів, вибір конструкції кріплення, виконавчих органів, дан розширений аналіз області застосування прохідницького обладнання.

- проведений аналіз конструкцій та параметрів вузлів комплексу для прохідницьких робіт показує відсутність конструкцій прохідницького обладнання для швидкого проведення виробок малого перетину по породах певної міцності та покрівлі різної стійкості.

- обґрунтовано зусилля пересування прохідницького обладнання на базі крокуючого кріплення, це визначає чась циклу прохідницьких робіт, величина зусилля пересування повинна бути не менше 400 кН, величина коефіцієнта опору пересування 0,4-6,0 (залежить від стану порід покрівлі).

- встановлено залежність зусилля пересування комплексу в моделі від часу при різних його навантаженнях. При переході від моделі до оригіналу параметри підтверджено коефіцієнт опору пересування прохідницького обладнання 0,4-6,0.

- визначено оптимальну область застосування прохідницького обладнання при проведенні виробки малого перетину ( $2,25 \text{ м}^2$ ), починаючи з довжини 10 м, в порівнянні з проведенням вручну в породах масиву міцністю до 2, нестійкою покрівлею, кроком встановлення рамного кріплення через кожні 0,50 м.

- складено методику визначення параметрів комплексу, вона включає розрахунок швидкості пересування кріплення, величин діаметрів робочих циліндрів, виконавчих органів. Можливі області застосування комплексу

прохідницького обладнання (виробки (спеціальні), виробки для гірничо-рятувальних робіт).

- складено номограму для визначення параметрів гідродомкрата в залежності від коефіцієнта міцності гірських порід. При моделюванні методом кінцевих елементів процесу навантаження (3D модель) секцій крокуючого кріплення отримані епюри напруг на кріплення, виявлені критичні напруги в його елементах та виконано посилення конструкцій кріплення.

## ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Зборщик М.П. Охрана выработок шахт в зонах разгрузки / В.В. Назимко, Зборщик, – К.: Тэхника, 1991. – 248 с.
2. Мировая экономика: тенденции за 1000 лет / [Под ред. И.С. Королева]. – М.: Экономист, 2003. – 247 с.
3. Ширнин И.Г. Угольные ресурсы мира и Украины / В.И. Дубницкий, И.Г. Ширнин // Уголь Украины. – 2007. – №1. – С. 5-8.
4. Доброгорский Н.А. Каменный уголь вчера, сегодня, завтра / В.И. Бычков, Н.А. Доброгорский. – Днепропетровск: Січ, 1994. – 93 с.
5. Ширнин И.Г. Энергетическая безопасность / И.Г. Ширнин, В.И. Дубницкий, В.А. Палкин // Уголь Украины. – 2007. – №12. – С. 38-43.
6. Красник В.Г. Программы развития угольной промышленности Украины // Уголь Украины. – 2006. – №12. – С. 6-8.
7. Розвиток вугільної промисловості // Уголь Украины. – 2005. – №9. – С. 3-4.
8. Ляшенко О.Ф. Заходи з оздоровлення вугільної промисловості / М.М. Кулик, О.Ф. Ляшенко // Уголь Украины. – 2006. – №1. – С. 6-9.
9. Янко С.В. Основные направления развития шахт Украины // Уголь Украины. – 1993. – №1. – С. 8-11.
10. Кара В.В. Состояние горных выработок на угольных шахтах Украины / В.В. Кара, Г.Л. Зорин, И.Ю. Заславский // Шахтное строительство. – 1988. – №6. – С. 22-25.
11. Повышение устойчивости выработок угольных шахт / [Заславский И.Ю., Файвишенко А.Г., Компанец В.Ф., Клещенко В.М.] – М.: Недра, 1991. – 235 с.
12. Селезень А.П. Состояние выработок и пути повышения их устойчивости // Уголь Украины. – 1987. – №5. – С. 25-27.
13. Косков И.Г. Направления совершенствования крепления выработок // Шахтное строительство. – 1985. – №1. – С. 3-5.

14. Державна звітність ДП «Шахтарськантрацит»: форма №1- пек (вугілля). – Шахтарськ, 2009.
15. Черняк И.Л. Управление горным давлением в выработках глубоких шахт / Ю.И. Бурчаков, И.Л. Черняк. – М.: Недра, 1984. – 304 с.
16. Симанович А.М. Охрана выработок на больших глубинах / М.А. Сребный, А.М. Симанович. – М.: Недра, 1976. – 144 с.
17. Охрана выработок без целиков / [Н.П. Бажин, Ю.В. Волков, В.В. Райский и др.]. – М.: Недра, 1975. – 296 с.
18. Глушко В.Т. Охрана выработок шахт / Цай Т.Н., Глушко В.Т., Ваганов И.И. – М.: Недра, 1975. – 200 с.
19. Болгожин Ш.А. Поддержание выработок на большой глубине / Лезин Г.Д., Болгожин Ш.А., Ищанов Т.К. – Алма-Ата: Наука, 1983. – 102 с.
20. Стрельченко И.И. Шахтные испытания оборудования «Титан1» / С.Н. Ицкович, И.И. Стрельченко, В.П. Ключко // Уголь Украины. – 1975. – № 1. – С. 31.
21. Усаченко Б.М. Геомеханика охраны горных выработок в слабометаморфизированных породах / Чередниченко В.П., Усаченко Б.М., Головчанский И.Е. – Киев: Наук. Думка, 1990. – 144 с.
22. Катков Г.А. Совершенствование охраны подготовительных выработок на большой глубине / А.С. Диманштейн, Г.А. Катков // Добыча угля подземным способом. – 1978. – № 9. – С. 32-34.
23. Катков Г.А. Охрана выработок полосами из твердеющих материалов / А.С. Диманштейн, Г.А. Катков, Н.Я. Полищук // Уголь. – 1979. – № 3. – С. 26-29.
24. Графова А.Я. Применение жестких полос для охраны выработок на пологих пластах Донецкого бассейна / С.И. Выборнова, А.Я. Графова // Добыча угля подземным способом. – 1979. – № 7. – С. 18-19.
25. Байсаров Л.В. Опыт применения импортных составов сухих смесей при возведении литых полос на шахте «Красноармейская Западная» №1 / А.А.

- Яйцов, Л.В. Байсаров, В.А. Болбат // Уголь Украины. – 2005. – №11. – С. 3-5.
26. Кошелев К.В. Охрана горных выработок / Петренко Ю.А., Кошелев К.В., Новиков А.О. – М.: Недра, 1990. – 218 с.
27. Кошелев К.В. Поддержание и восстановление выработок / А.Г. Томас К.В. Кошелев. – М.: Недра, 1985. – 215 с.
28. Фатеев В.Ф. Проведение выработок одиночным забоем / В.М. Клещенко, В.Ф. Фатеев // Уголь. – 1980. – № 2. – С. 15-19.
29. Григорьев В.Л. Возможные способы охраны выработок при увеличении глубины разработки // Добыча угля подземным способом. – 1978. – № 2. – С. 22-24.
30. Мельников Н.М. Шахтные исследования анкерной крепи / Н.В. Козицкий, Н.М. Мельников, Н.В. Ноздричев // Технология добычи подземным способом. – 1974. – №8. – С. 5-7.
31. Обратный свод крепи из разгруженных и упрочненных пород / Г.В. Бабиюк, Г.Г. Литвинский, В.С. Кукленко // Уголь Украины. – 1980. – № 2. – С. 14-15.
32. Комиссаров М.А. Исследование защитного действия разгрузки выработок скважинами / А.Г. Федорук, М.А. Комиссаров, И.А. Павленко // Уголь Украины. – 1975. – № 8. – С. 15-18.
33. Каталог условий эксплуатации механизированных комплексов на пологонаклонных пластах – Л.: ВНИМИ, 1985. – Ч.1. – 235 с.
34. Кузнецов Г.Н. Изучение проявлений горного давления. – М.: Углетехиздат, 1959. – 283 с.
35. Левинсон-Лессинг Ф. К вопросу о давлении / Ф. Левинсон-Лессинг, А. Зайцев. – М.: ОНТИ, 1915. – 118 с.
36. Покровский Г.И. Центробежное моделирование. – М.: ОНТИ, 1935. – 54 с.
37. Покровский Г.И. Моделирование в горном деле / И.С. Федоров, Г.И. Покровский. – М.: Недра, 1969. – 247 с.

38. Ильштейн А.М. Закономерности горного давления. – М.: Углетехиздат, 1958. – 169 с.
39. Шашенко А.Н. Устойчивость выработок в неоднородном породном массиве: дисс....доктора техн. наук: 05.15.11 / Шашенко А.Н. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.
40. Кузнецов Г.Н. Методы исследования горного давления // Труды совещания по управлению горным давлением – М.: Углетехиздат, 1948. – С. 9-149.
41. Козин А.М. Материалы для моделирования пород. – М.: Углетехиздат, 1958. – 19 с.
42. Козин А.М. Руководство по подбору и испытанию эквивалентных материалов / Рутковская Е.П., Козин А.М. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1974. – 40 с.
43. Ломтадзе В.Д. Методы исследований физико-механических свойств пород. – Л.: Недра, 1972. – 312 с.
44. Свойства пород и методы их определения / Ильницкая Е.И., Ватолин Е.С., Тедер Р.И., Кунтыш М.Ф.. – М.: Недра, 1969. – 392 с.
45. Насонов И.Д. Моделирование процессов в горном деле / В.И. Ресин, И.Д. Насонов. – М.: Изд. Академии горных наук, 1999. – 343 с.
46. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по математической статистике. – М.: Высшая школа, 1975. – 333 с.
47. Динник А.Н. Статьи по горному делу. – М.: Недра, 1957. – 124 с.
48. Феннер Р. Исследование горного давления // Вопросы теории горного давления / Р. Феннер. – М., 1961. – С. 124-135.
49. Руппенейт К.В. Вопросы механики горных пород. – М.: Недра, 1954. – 256 с.
50. Либерман Ю.М. Давление на крепь выработок. – М.: Недра, 1969. – 238 с.
51. Заславский Ю.З. Горное давление в капитальных выработках. – Донецк, 1968. – 187 с.

52. Ержанов Ж.С. Ползучесть пород и ее влияние на состояние сооружений: автореф. дисс. на соиск. науч. степени докт. техн. наук. / Ж.С. Ержанов. 1962. – 32 с.
53. Векслер Ю.А. Исследование деформаций ползучести и разрушения пород вокруг выработок: автореф. дисс. на соиск. науч. степени докт. техн. наук / Ю.А. Векслер. 1978. – 34 с.
54. Протодяконов М.М. Давление пород и рудничное крепление. – М., 1930. – 245 с.
55. Цимбаревич П.М. Рудничное крепление. – М.: Углетехиздат, 1951. – 608 с.
56. Борисов А.А. Механика пород и горных массивов. – М.: Недра, 1980. – 316 с.
57. Слесарев В.Д. Механика пород. – М.: 1948. – 183 с.
58. Жданкин Н.А. Геомеханика выработок. – Новосибирск.: Наука, Сиб. отделение, 1990. – 112 с.
59. Метод граничных элементов в горной геомеханике / Новикова Л.В., Приходько В.В., Пономаренко П.И., Морозов И.Т. – Днепропетровск: изд-во Наука и образование, 1997. – 180 с.
60. Цырульникова М.Н. Анализ результатов расчета напряженного состояния пород кровли впереди горных выработок // Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. – Новосибирск: ИГД. – 1982. – № 204. С. 50-52.
61. Sinelair T.S.E. Hergete of a computer model to the of rock-backfill inter / J.N. Shillabeer, T.S.E. Sinelair //Appl-Rock Mech. Mining Proc. – 1978. – №2. – P. 45-51.
62. Shimotani Takato. Исследование прочности мрамора с помощью метода собственных деформаций / Yamatoni Siro, Shimotani Takato, Yamaguchi Umetato // J. Mining and Met. Inst. Jap.– 1980. – 96, N 1110. – P. 529-534.
63. Everling G. Ein Gebirga rock als Planung ehilt / A.G. Meyer, G. Everling // Gluckaut – Forach – H.33. – 1972. – S. 81-88.

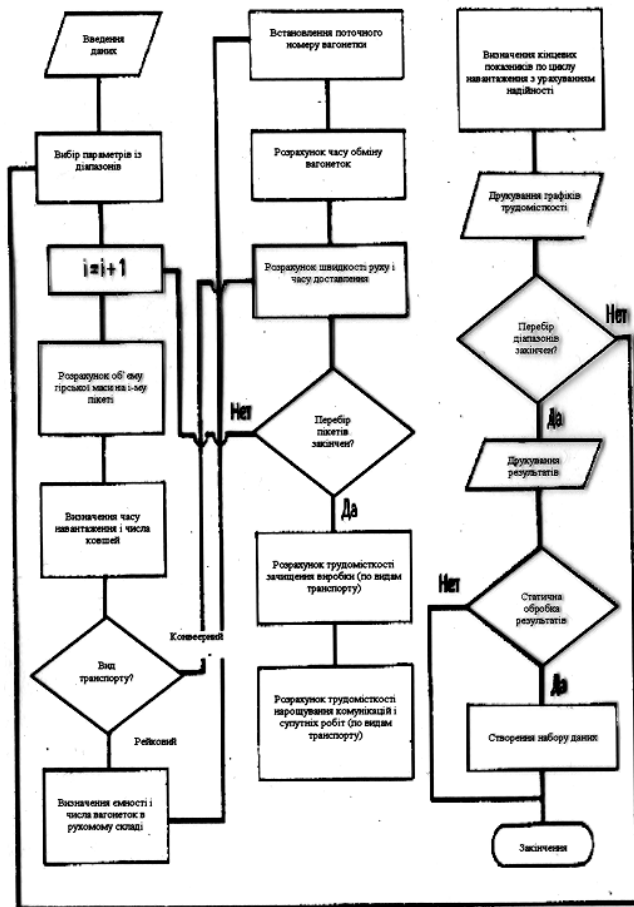
64. Бенерджи П. Методы граничных элементов / Р. Батеерфилд, П. Бенерджи. – М.: Мир, 1984. – 494 с.
65. Векслер Ю.А. Решение задачи упругости для выработки / Н.А. Жданкин, Ю.А. Векслер, С.Б. Колоколов // ФТПРПИ. – 1981. – № 4. – С. 15-23.
66. Векслер Ю.А. Анализ напряженно-деформированного состояния массива в окрестности забоя выработки / Н.А. Жданкин, Ю.А. Векслер, С.Б. Колоколов // Аналитические исследования в механике горных пород. – Новосибирск.: ИГД. – 1981. – С. 70-72.
67. Петухов И.М. Напряженное состояние массива пород около очистных выработок / В.В. Зубков, И.М. Петухов, И.А. Зубкова // ФТПРПИ. – 1982. – № 5. – С. 3-8.
68. Новикова Л.В. Влияние забоя выработки на состояние крепи соседних выработок / Н.П. Уланова, Л.В. Новикова, К. Абдулах // Науковий вісник НГА України. – 1998. – № 1. – С. 29-31.
69. Сдвижкова Е.А. Численный анализ работы рамной крепи в условиях нагружения // Горный информационный аналитический бюллетень. – 1997. – № 4. – С. 163-166.
70. Розин Л.А. Расчет гидротехнических сооружений. Метод конечных элементов. – Л.: Энергия, 1971. – 214 с.
71. Розин Л.А. Метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1977. – 129 с.
72. Зенкевич О. Метод конечных элементов в механике сплошных сред / И. Чанг, О. Зенкевич: пер. с англ. – М.: Недра, 1974. – 239 с.
73. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов: пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
74. Стренг Г. Теория метода конечных элементов: пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 350 с.
75. Деклу Ж. Метод конечных элементов: пер. с фран. – М.: Мир, 1976. – 96 с.

76. Амусин Б.З. Метод конечных элементов при решении задач геомеханики / А.Б. Фадеев, Б.З. Амусин. – М.: Недра, 1975. – 144 с.
77. Амусин Б.З. Расчет взаимодействия крепи выработок некругового очертания с вязкоупругим массивом пород // ФТПРПИ. – 1979. – № 2. – С. 100-102.
78. Ержанов Ж.С. Метод конечных элементов в задачах механики пород / Т.Д. Каримбаев, Ж.С. Ержанов. – Алма-Ата.: Наука, 1975. – 238 с.
79. Амусин Б.З. Применение метода конечных элементов к задачам геомеханики / А.П. Троицкий, Б.З. Амусин, А.Б. Фадеев // Тезисы докладов по применению ЭВМ в строительной механике. – М.: 1972. – С. 16-20.
80. Новикова Л.В. Распределение напряжений в массиве пород на участке сопряжения двух выработок / А.И. Калашников, Л.В. Новикова, В.С. Лесников // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1984. – № 2. – С. 25.
81. Хозяйкина Н.В. Закономерности изменения состояния массива на первом этапе отработки пласта / Е.А. Сдвижкова, Н.В. Хозяйкина // Сборник научных трудов НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ. – Т.1, №17. – 2003. – С. 306-311.
82. Шашенко А.Н. Вероятностная оценка устойчивости выработок в зоне влияния очистных работ / Е.А. Сдвижкова, А.Н. Шашенко // Геотехническая механика. – 2000. – Вып. 20. – С. 58-61.
83. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А. Тулуб С.Б., Некоторые задачи геомеханики. – К.: Пульсари, 2001. – 243 с.
84. Сдвижкова Е.А. Устойчивость выработок в структурнонеоднородном породном массиве с распределенными свойствами: дисс...доктора техн. наук: 05.15.09 / Сдвижкова Е.А. – Днепропетровск, 2002. – 410 с.
85. Панишко А.И. Обоснование параметров анкерной крепи выработок в условиях шахт: дисс....кандидата техн. наук: 05.15.04 / Панишко А. И. – Днепропетровск, 2001. – 153 с.

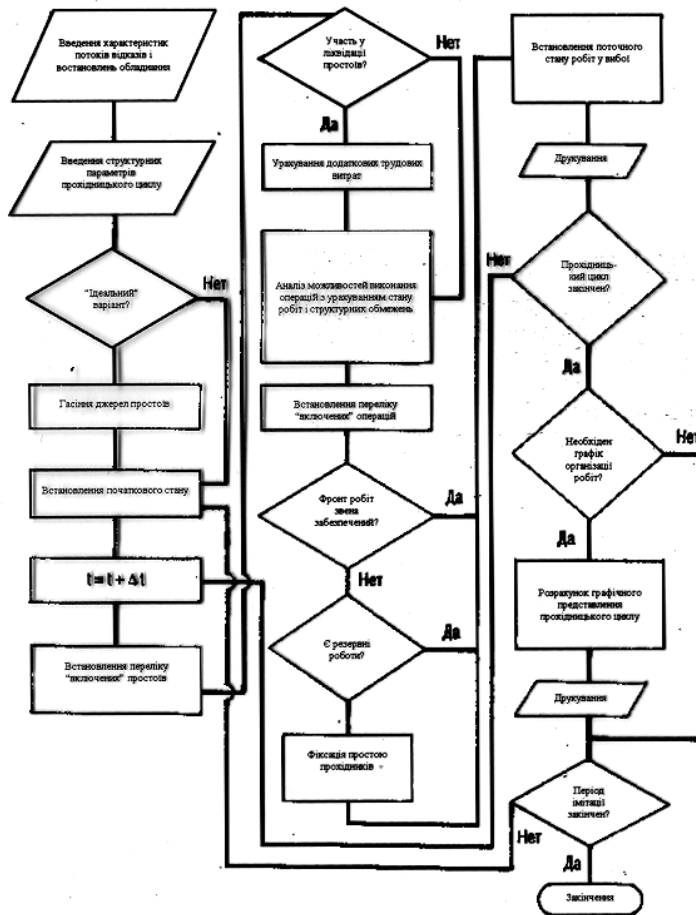
## ДОДАТКИ

## ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК

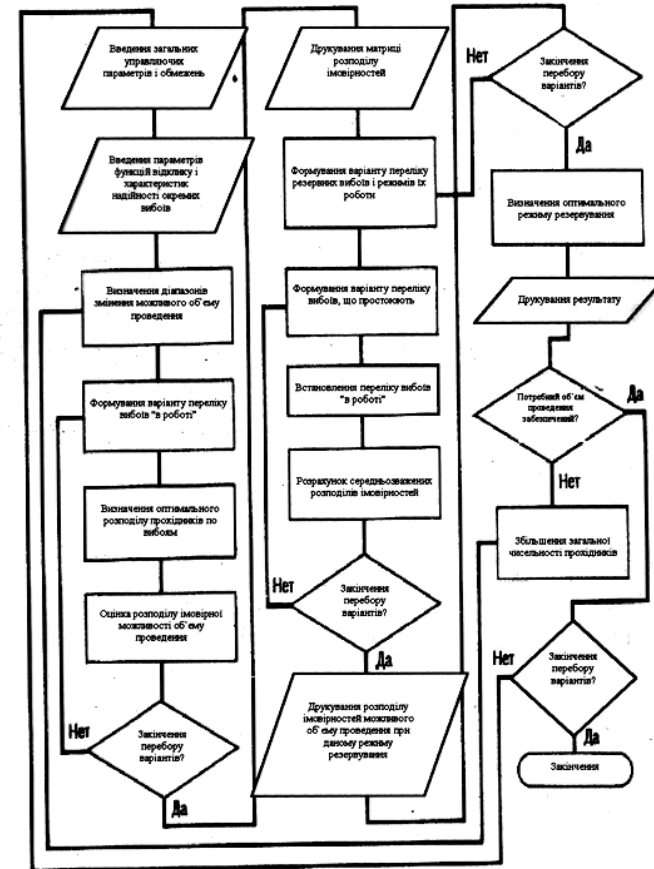
### АЛГОРИТМ «ТУРИСТ»



### АЛГОРИТМ «АНАТОМ»



### АЛГОРИТМ «РЕЗЕРВ»



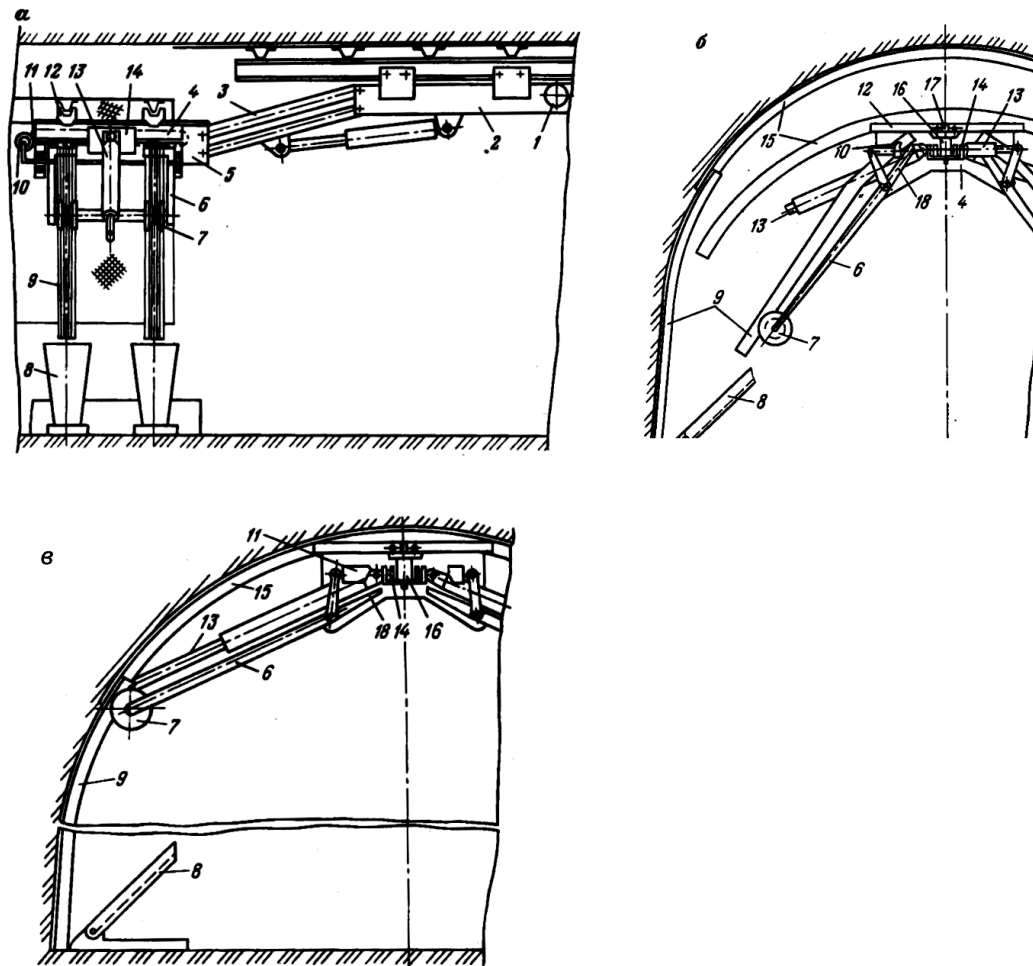
Алгоритм і програма «ТУРИСТ» розроблені для виконання необхідних розрахунків по операційним моделям трудомісткості проведення виробок. Входом програми «Турист» служать індекси застосовуваного обладнання, параметри прохідного циклу і гірничо-геологічні умови, виходом – структура витрат праці і часу на проведення, кінцеві техніко-економічні показники, значення коефіцієнту технічного рівня  $K_{тр}$ , вартість проведення виробки.

За допомогою програми "Турист" можна тільки укрупнено оцінити вплив таких груп факторів, як безвідчуждівність роботи і ремонтнопридатність окремих видів прохідницького обладнання, наявність обмежень на послідовність і ступінь сумісності окремих робіт, наявність або відсутності зрештування надійності. В той самий час дослідження цих факторів особливо важливо на початкових стадіях розробки технологічних схем, коли визначається "контур" технології і задаються вимоги до її складових, але не втрачає свого значення і в задачах детальної оцінки діючих технологій.

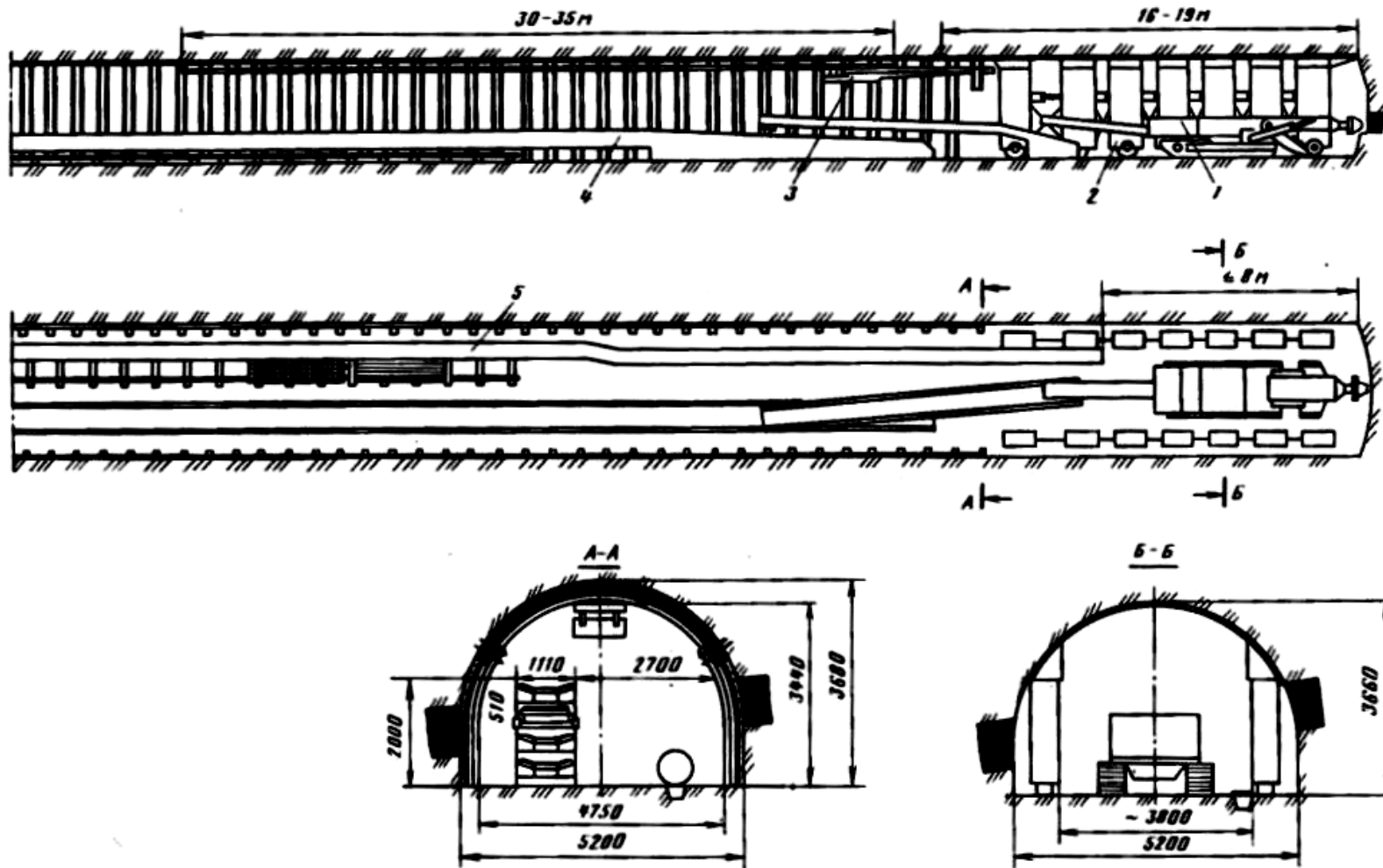
В зв'язку з викладеним розроблені алгоритм і програма "Анатом" для аналізу технології проведення виробок методом імітаційного моделювання.

Алгоритм "РЕЗЕРВ" є схемою направленої пошуку раціонального режиму резервування фронту прохідницьких робіт і включає два варіанти. Загальна схема пошуку в обох випадках зводиться до визначення початкового (опорного) варіанта резервування вибоїв і до процедури послідовної заміни (включення і виключення з розглядуваного переліку) прохідницьких вибоїв – аж до отримання оптимального (не підлягаючого подальшому покращенню) варіанта.

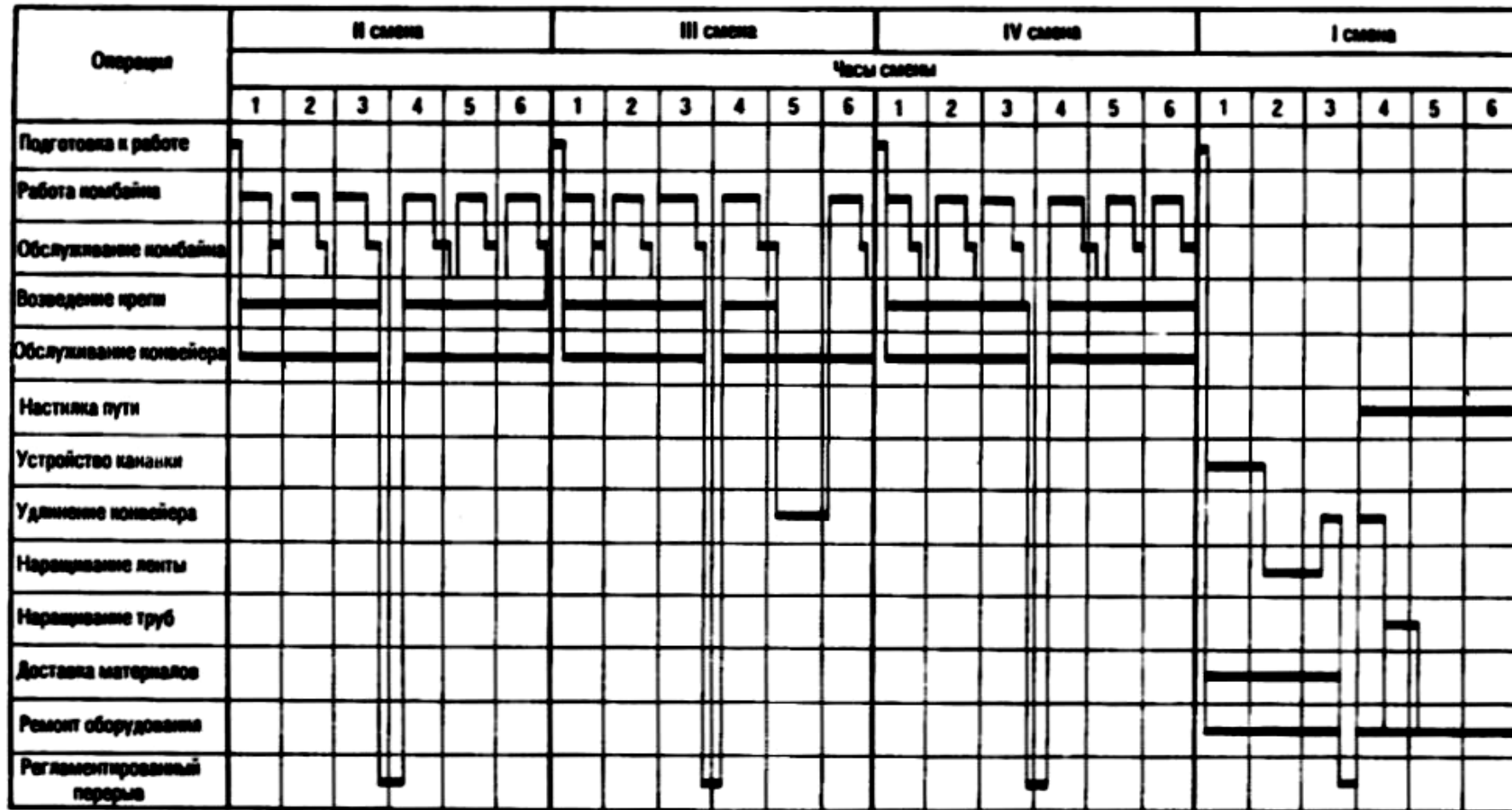




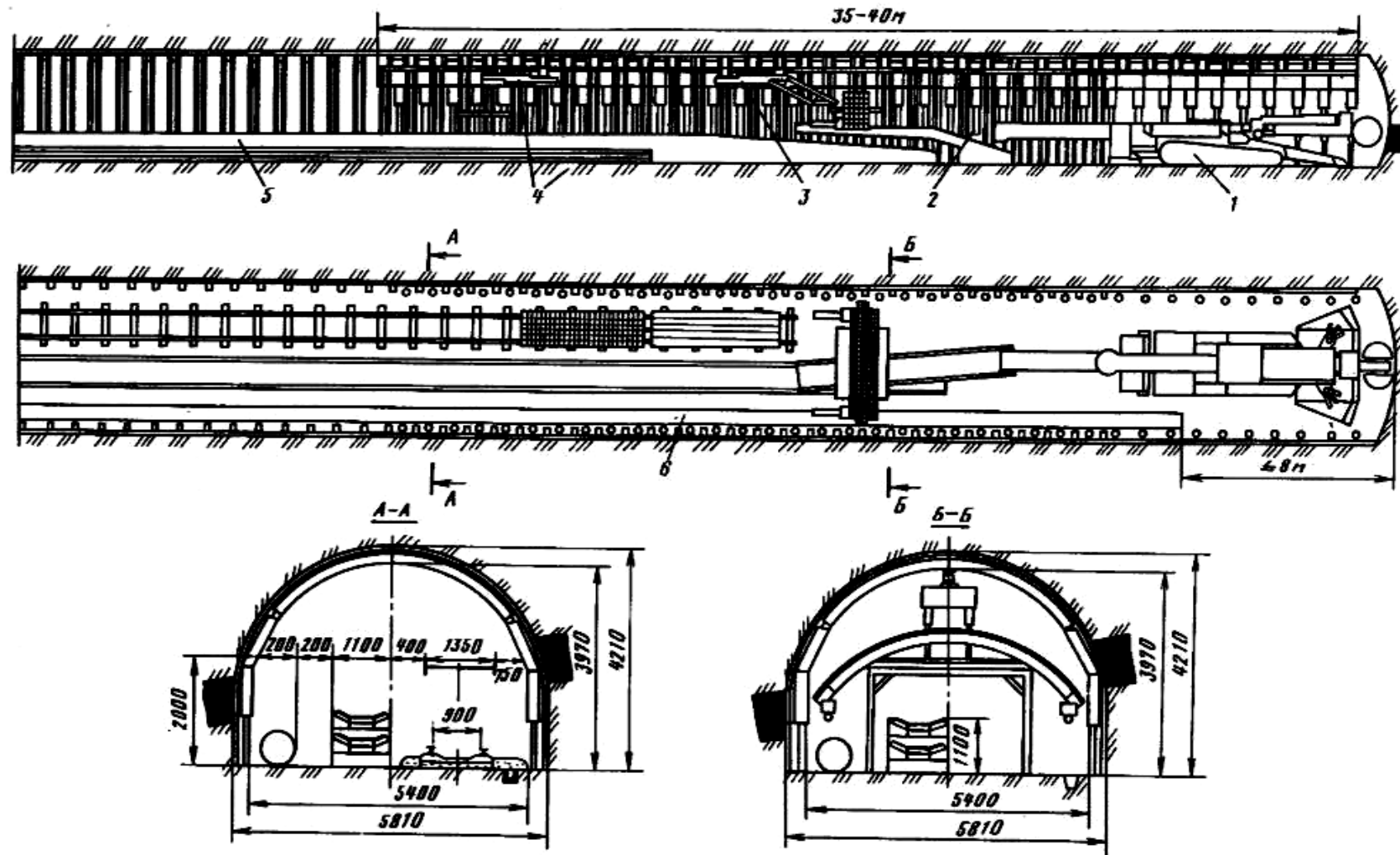
Установщик кріплення: а – вид зі сторони; б – стан піднімального елемента в момент транспорту вузлів кріплення; в – стан піднімального елемента під час встановлення кріплення



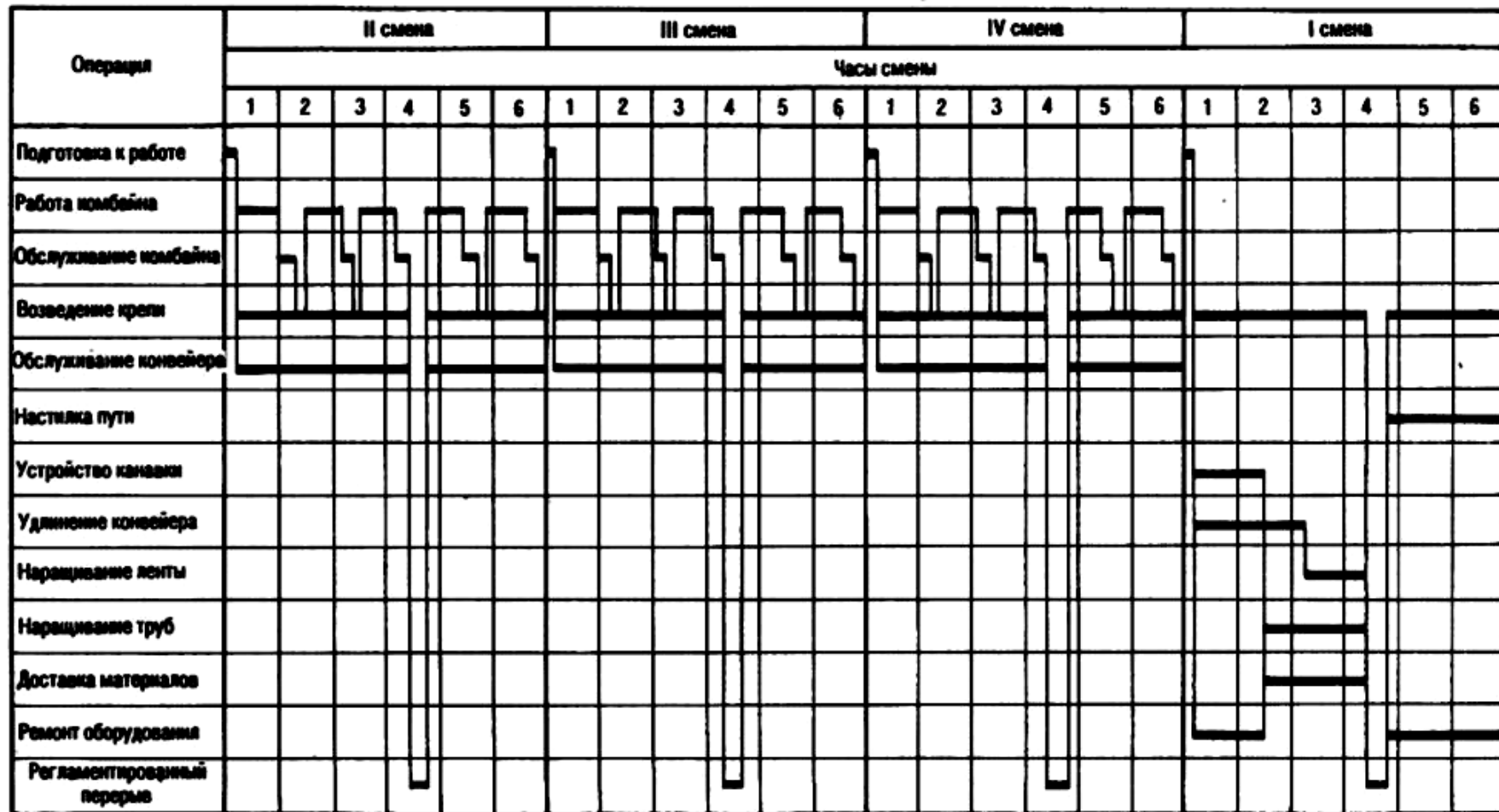
Проведення виробки (технологічна схема) комбайном КСП-32 при використанні пересувного механізованого кріплення: 1 – проходницький комбайн; 2 – пересувне механізоване кріплення; 3 – установщик кріплення; 4 – стрічковий конвеєр 1ЛТП-800; 5 – трубопровід вентиляційний



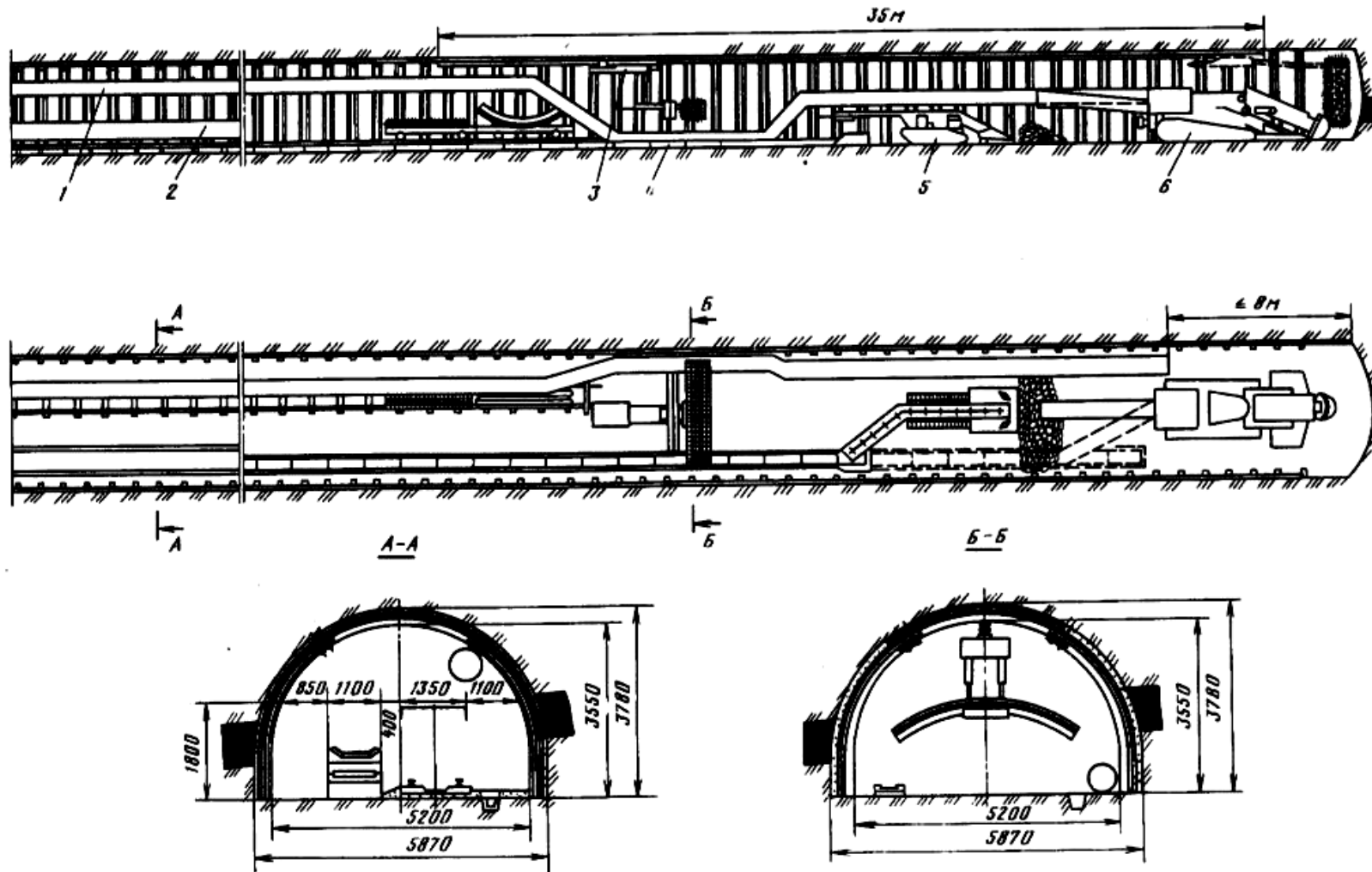
Графік організації прохідницьких робіт при проведенні виробки комбайном КСП-32 при використанні пересувного механізованого кріплення



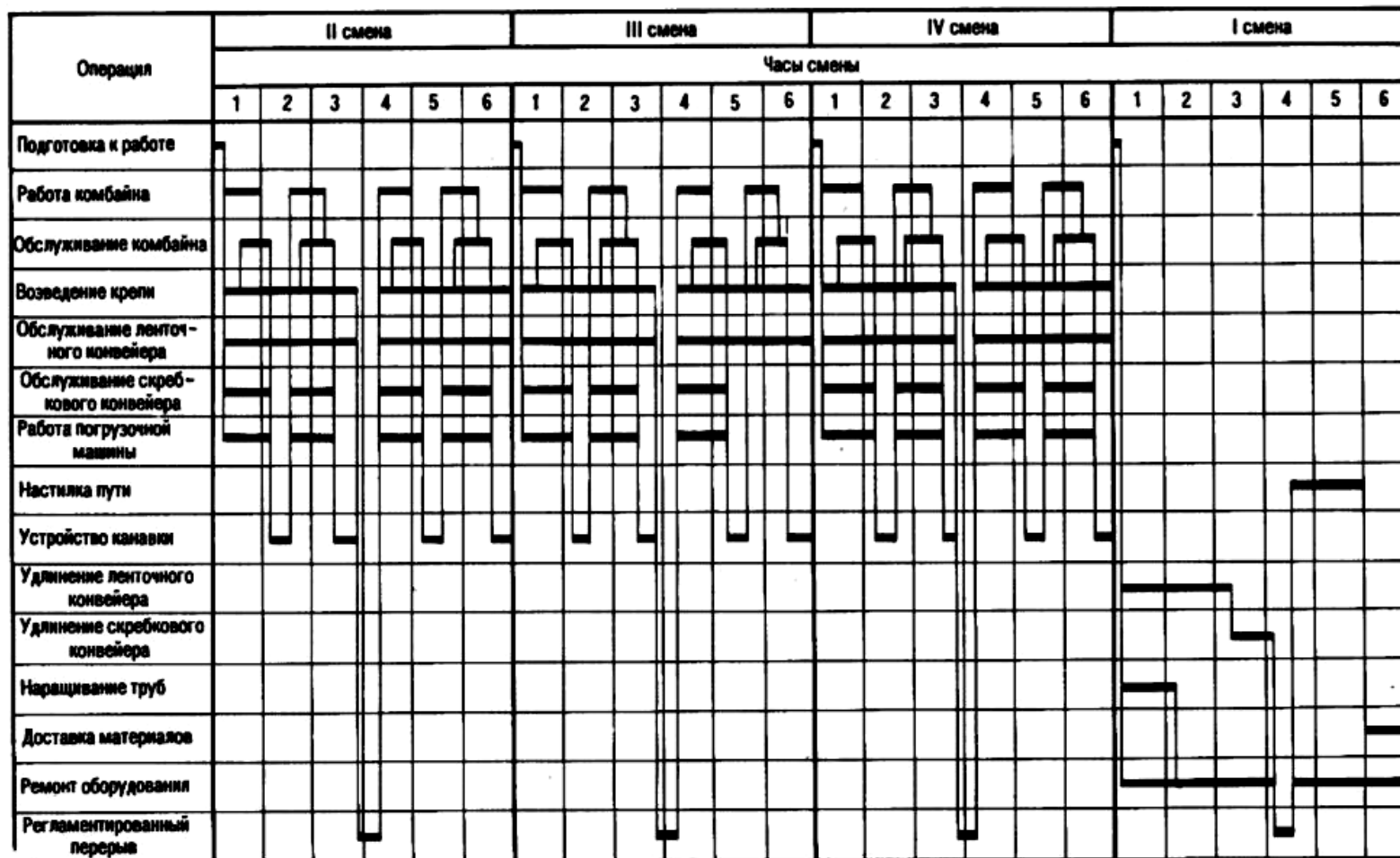
Проведення виробки (технологічна схема) комбайном П-220 при використанні механізованого панельного тимчасового кріплення: 1 – прохідницький комбайн; 2 – секція кріплення; 3 – установник кріплення; 4 – доставщик кріплення; 5 – стрічковий конвеєр 1ЛТП-80; 6 – трубопровід вентиляційний



Графік організації прохідницьких робіт при проведенні виробки комбайном П-220 при використанні механізованого панельного тимчасового кріплення



Проведення виробки (технологічна схема) комбайном 4ПП-2М при використанні секційного консольного кріплення: 1 –трубопровід вентиляційний; 2 – стрічковий конвеєр 1Л-80; 3 –установщик кріплення з комплектом консольного секційного кріплення; 4 – скребковий конвеєр СП-202; 5 – породонавантажувальна машина 1ПНБ-2; 6 – комбайн



Графік організації прохідницьких робіт при проведенні виробки комбайном 4ПП-2М при використанні секційного консольного кріплення