

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

(повне найменування інституту, назва факультету)

Факультет «Гірничий»

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Управління гірничим виробництвом і охорона праці»

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____/Ляшок Я.О/
(підпис) (ініціали, прізвище)
« » _____ 2022 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Геомеханічне обґрунтування утворення вивалів у очисному вибою в процесі відробки вугільних пластів, з метою охорони здоров'я працівників вибою**

Виконав: студент 2 курсу, групи ОПГм-21
(шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності) 184 «Гірництво», спеціалізація

«Охорона праці»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Бессарабов Володимир Ігорович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доцент, к.т.н., доц. Сергієнко О.І.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Покровськ – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
 Факультет Гірничий
 Кафедра Управління гірничим виробництвом і охорона праці
 Освітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) Магістр
 Напрямок підготовки (спеціальність) 184 Гірництво
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Завідувач кафедри

_____/Ляшок Я.О/
 (підпис) (ініціали, прізвище)
 “ ” 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРУ

Бессарабов Володимир Ігорович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Геомеханічне обґрунтування утворення вивалів у очисному вибою в процесі відробки вугільних пластів, з метою охорони здоров'я працівників вибою

керівник проекту (роботи) Сергієнко Олександр Іванович, к.т.н, доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від № _____ “ ” 2022 року

2. Строк подання студентом проекту (роботи) “ ” 2022 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) матеріали переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз методів прогнозування утворення вивалу над очисним вибоєм. 2. Лабораторні дослідження механічних властивостей гірських порід. 3. Чисельні дослідження об'ємного напружено-деформованого стану гірських порід навколо очисних виробок. 4. Аналіз методів підвищення стійкості очисних виробок. 5. Рекомендації щодо стійкості очисних виробок в процесі їх експлуатації.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) рисунки, графіки, фото процесів дослідження

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання “ ____ ” ____ 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	<i>Аналіз методів прогнозування утворення вивалу над очисним вибоєм</i>	29.09.22	<i>Виконано</i>
2.	<i>Лабораторні дослідження механічних властивостей гірських порід</i>	05.10.22	<i>Виконано</i>
3.	<i>Чисельні дослідження об’ємного напружено-деформованого стану гірських порід навколо очисних виробок</i>	15.10.22	<i>Виконано</i>
4.	<i>Аналіз методів підвищення стійкості очисних виробок</i>	05.11.22	<i>Виконано</i>
5.	<i>Рекомендації щодо стійкості очисних виробок в процесі їх експлуатації.</i>	25.11.22	<i>Виконано</i>
6.	<i>Оформлення роботи і підготовка до захисту</i>	02.12.22	<i>Виконано</i>
7.			
8.			
9.			
10.			

Студент _____ *Бессарабов В.І.*
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ *Сергієнко О.І.*
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бессарабов В.І. «Геомеханічне обґрунтування утворення вивалів у очисному вибою в процесі відробки вугільних пластів, з метою охорони здоров'я працівників вибою» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 184 «Гірництво» (спеціалізація «Охорона праці в гірництві»). – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2022.

Метою роботи є геомеханічне обґрунтування утворення вивалів над очисними виробками в процесі відробки вугільних пластів.

Ідея роботи полягає в тому що для визначення міст утворення вивалів і їх параметрів необхідно визначати об'ємний напружено-деформований стан гірського масиву над очисним вибоєм.

Для вирішення поставлених задач використані наступні **методи дослідження**: шахтні спостереження за обваленням покрівлі, методи лабораторних досліджень руйнування гірських порід; методи кінцевих елементів для чисельного моделювання напружено-деформованого стану порід покрівлі.

Новизна роботи: Вперше встановлений критерій вивалоутворення для об'ємного напружено-деформованого стану гірського масиву, з урахуванням тріщиностійкості порід.

Ключові слова: руйнування порід, вивалоутворення, критерій руйнування, об'ємний напружено-деформований стан, тріщиностійкість, в'язкість руйнування.

SUMMARY

Bessarabov V. Geomechanical substantiation of the stability of sewage treatment plants during operation, in order to protect the health of workers of the face / Final qualification work for the degree of "Master" in specialty 184 "Mining" (specialization "Occupational Safety in Mining"). - SHEI DonNTU, Pokrovsk, 2020.

Purpose. The purpose of the work is the geomechanical substantiation of the formation of tailings above the treatment works in the process of mining coal seams.

The **idea** of the work is that in order to determine the places of formation of fallouts and their parameters, it is necessary to determine the volumetric stress-deformed state of the mountain massif above the cleaning hole.

Methodology. The following research methods were used to solve the problems: mine observations of the collapse of the roof, methods of laboratory research on the destruction of rocks; finite element methods for numerical modeling of the stress-strain state of roof rocks.

Scientific novelty: For the first time, the criterion of rockfall formation was established for the volumetric stress-deformed state of the rock massif, taking into account the crack resistance of the rocks.

Key words: rock failure, cave-in rock, failure criterion, volumetric stress-strain state, crack resistance, fracture toughness.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ УТВОРЕННЯ ВИВАЛУ НАД ОЧИСНИМ ВИБОЄМ.....	10
1.1. Характер поведінки порід покрівлі при виїмці вугільних пластів.....	10
1.2. Руйнування порід в результаті відпрацювання вугільних пластів.....	19
1.4. Шахтний досвід дослідження поведінки порід покрівлі над очисним вибоєм.....	31
2. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД	33
2.1. Методи лабораторного дослідження руйнуючих напружень при зсуві з стисненням	33
2.2. Лабораторні дослідження руйнуючих напружень при зсуві з стисненням	35
2.3. Результати лабораторних досліджень	38
2.3. Визначення критерію руйнування порід з урахуванням їх тріщиностійкості.....	41
3. ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГІРСЬКИХ ПОРІД НАВКОЛО ОЧИСНИХ ВИРОБОК	43
3.1. Математична модель напружено-деформованого стану масиву що підробляється	43
3.2. Чисельні дослідження напружено-деформованого стану масиву що підроблюється	47
3.2.1. Гірничо-геологічна характеристика умов відробки 9 північної лави блоку №10 пласта d ₄	47
3.2.2. Результати численного дослідження об'ємного напружено- деформованого стану підроблюємого масиву 9-ї північної лави блоку №10	51
4. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ОЧИСНИХ ВИРОБОК.....	63
1.2. Аналіз заходів щодо запобігання обвалень покрівлі у очисному вибої.....	63

1.2. Досвід застосування хімічного анкерування у лавах з різною механізацією очисних робіт	67
1.3. Дослідження стійкості порід покрівлі у привибійному просторі	69
1.4. Технологічні схеми підготовки і нагнітання сумішей	73
1.5. Схеми зміцнення порід при переході очисними вибоями геологічних порушень	78
1.6. Стан робіт по анкеруванню порід, що закріплюються хімічними речовинами	80
5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО СТІЙКОСТІ ОЧИСНИХ ВИРОБОК В ПРОЦЕСІ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	98
5.1. Параметри нагнітання скріплюючих складів	98
5.2. Параметри нагнітання для магнезійних в'язучих сумішей	99
5.3. Вибір способу зміцнення порід покрівлі швидкотвердіючими складами	101
5.3. Техніко-економічна ефективність технології зміцнення порід	104
ВИСНОВКИ	107
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	110

ВСТУП

Актуальність роботи.

На сьогодні при веденні очисних робіт в складних гірничо-геологічних умовах в основній покрівлі пласта залягають потужні і досить міцні породи, які зависаючи на великій площині привантажують приконтурну частину пласта. При цьому над опорним контуром пласта відбувається інтенсивне деформування безпосередньої покрівлі з розкриттям структурно-літологічних тріщин і утворення таких нових систем, як тріщини відколу, відриву, зсуву.

Незадовільний стан слабкої вивалонебезпечної покрівлі в значній мірі посилюється наявністю у гірському масиві різних плікативних, діз'юнктивних порушень, а також потужних і міцних літологічних окремоностей порід покрівлі, які важко піддаються прогнозуванню і попередньому виявленню. Вивали порід безпосередньої покрівлі у привибійний простір приводять до значних матеріальних витрат на ліквідацію їх наслідків та істотно знижують безпеку робіт у лаві.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є геомеханічне обґрунтування утворення вивалів над очисними виробками в процесі відробки вугільних пластів.

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовані наступні **задачі**:

- 1) Аналіз методів прогнозування утворення вивалу над очисним вибоєм;
- 2) Лабораторні дослідження механічних властивостей гірських порід;
- 3) Чисельні дослідження об'ємного напружено-деформованого стану гірських порід навколо очисних виробок;
- 4) Аналіз методів підвищення стійкості очисних виробок;
- 5) Рекомендації щодо стійкості очисних виробок в процесі їх експлуатації.

Ідея роботи полягає в тому що для визначення міст утворення вивалів і їх параметрів необхідно визначати об'ємний напружено-деформований стан гірського масиву над очисним вибоєм.

Об'єкт дослідження. Процес руйнування порід і вивалоутворення безпосередньої покрівлі у зоні опорного тиску попереду очисного вибою.

Предмет дослідження. Вивалоутворення порід безпосередньої покрівлі.

Методи дослідження: шахтні спостереження за обваленням покрівлі, методи лабораторних досліджень руйнування гірських порід; методи кінцевих елементів для чисельного моделювання об'ємного напружено-деформованого стану порід покрівлі.

Новизна роботи: Вперше встановлений критерій вивалоутворення для об'ємного напружено-деформованого стану гірського масиву, з урахуванням тріщиностійкості порід.

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ УТВОРЕННЯ ВИВАЛУ НАД ОЧИСНИМ ВИБОЄМ

1.1. Характер поведінки порід покрівлі при виїмці вугільних пластів

В даний час можна вважати досить вивченим, для умов Донецького басейну, рух порід в початковій і кінцевій стадіях процесу. Проміжна стадія є найменш вивченою і важко доступною для дослідження звичайними інструментальними методами, що надали цілком сприятливі результати при вивченні двох інших стадій процесу. В останні роки успішно застосовується для вивчення поведінки товщі порід метод моделювання еквівалентними матеріалами. Все розмаїття поведінки бічних порід і розподіл напружень в них в результаті проведення гірничих виробок можна звести в меншому вигляді до трьох типів [1].

Перший тип. Первісний напружений стан порід і їх міцність такі, що напруження, які виникають в породах навколо даної виробки, не перевищують граничного опору порід і рух їх в оголений простір не досягає величини руйнуючих деформацій. В цьому випадку виробки можуть зберігатися невизначено довгий час; руйнування порід може бути викликано тільки процесами їх вивітрювання. У таких виробках, з точки зору практичних завдань управління покрівлею, гірський тиск як би відсутній.

Другий тип. Напруження в оточуючих виробки породах перевищують межу їх опорів на розтяг, стиск, вигин або зсув. В окремих місцях або по всьому периметру виробки з'являються тріщини, шматки порід відокремлюються. Відокремлена порода не заповнює всього порожнього простору і вільна від напружень, крім виникаючих сил її власної ваги. Руйнування триває до тих пір, поки не утвориться така гранична форма виробки, при якій створюється рівновага. Такий напружений стан масиву

порід, при якому напруження ні де не перевищують опору порід. Ця рівновага може бути як постійною, так і тимчасовою.

Третій тип. Породи навколо виробки не в змозі чинити опір діючим на них силам і руйнуються. В цьому випадку виробка може бути збережена тільки за рахунок зовнішніх опорів (кріплення), в більшості випадків на порівняно короткий час. Незалежно від властивостей бічних порід при проведенні в них очисних виробок створюються умови, характерні для третього типу; тут бічні породи і вугілля ніколи не знаходяться в стані спокою і рівноваги.

Безпосередньою покрівлею називають товщу порід, що залягає безпосередньо над вугільним пластом (вона може складатися з декількох окремих пластів або пачок), тиск якої в межах призабійного простору в основному сприймається кріпленням і ціликом вугілля. Безпосередня покрівля не може триматися в межах призабійного простору протягом тривалого часу без кріплення; після видалення останньої вона може руйнуватися. Потужність безпосередньої покрівлі залежить від будови порід і їх фізико-механічних властивостей. При неглибокому заляганні пласта і пухких породах безпосередньої покрівлі може сягати до земної поверхні і в тиску на кріплення очисного вибою в цих випадках бере участь уся товща порід.

Якщо над пластом залягає потужний пласт міцної породи однієї петрографічної назви (наприклад, пісковик), при чому нижні шари цієї породи мають здатність руйнуватися, а вище розміщені - не схильні до обвалення, то безпосередньою покрівлею слід вважати шари порід, що обвалюються, а основною – вище лежачі. В окремих рідкісних випадках безпосередня покрівля може навіть сходити нанівець, тоді безпосередньо над пластом залягає основна покрівля і безпосередня покрівля якби зливається з основною. Основною покрівлею називають покрівлю, яка залягає над безпосередньою покрівлею і шари порід достатньої потужності, які не обвалюються одночасно з обваленням безпосередньої покрівлі, тиск яких

сприймається ціликом вугілля і закладкою або заваленою породою.

Основна покрівля може бути оголена на великій площі; вона приходить в рух через деякий час після обвалення або осідання безпосередньої покрівлі. Розподіл покрівлі на безпосередню і основну є до певної міри умовним, і воно не стільки визначається петрографічною назвою порід, скільки характером їх поведінки. Крім цього розрізняють ще неправдиву покрівлю. Під помилковою покрівлею розуміють слабку покрівлю, що легко обвалюються, незначної потужності (до 0,3–0,4 м), що залягає безпосередньо над пластом вугілля. У більшості випадків вона обвалюється разом з вугіллям при виїмці останнього; її утримання в межах призабійного простору пов'язано з труднощами.

Безпосередньою підшвою називають товщу порід, що залягає, безпосередньо під вугільним пластом. Потужність безпосередньої підшви залежить в основному від фізико-механічних властивостей залягаючих порід. З безпосереднім ґрунтом пов'язані явища її руху (сповзання і піддування), а також втискування в неї кріплення (стійок) .

Основною підшвою називають товщу порід, що залягає нижче за безпосередню підшву. Після виїмки вугілля на площі достатніх розмірів порушена рівновага супроводжується рухом всієї товщі порід аж до земної поверхні.

Після обвалення безпосередньої покрівлі, основна покрівля створює тимчасову рівновагу вище розміщених порід. Проте, оскільки обрушені породи безпосередньої покрівлі або закладка не створюють досить жорсткої опори для основної, то остання через деякий час також приходить в рух, обламується, осідає, а в окремих випадках – обрушується. На відміну від обвалення безпосередньої покрівлі, рух і обвалення основної відбуваються значнішими масивами.

Для практики управління покрівлею мають значення рух і обвалення безпосередньої і основної покрівлі; рух порід, лежачих вище за основну крівлю, практично не відбиваються на стані стійкості виробки. Загальна

картина руху товщі порід від пласта до земної поверхні може бути представлена таким чином. Після виїмки вугілля в результаті вибійки кріплення (наприклад, при роботі з повним обваленням) у виробленому просторі відбувається обвалення покрівлі (рис. 1.1). Висота цього обвалення визначається характером і величиною розпушування порід. Безладне спочатку обвалення поступово переходить в осідання порід покрівлі спочатку з повним розривом суцільності, перехідним в плавне осідання з частковими розривами.

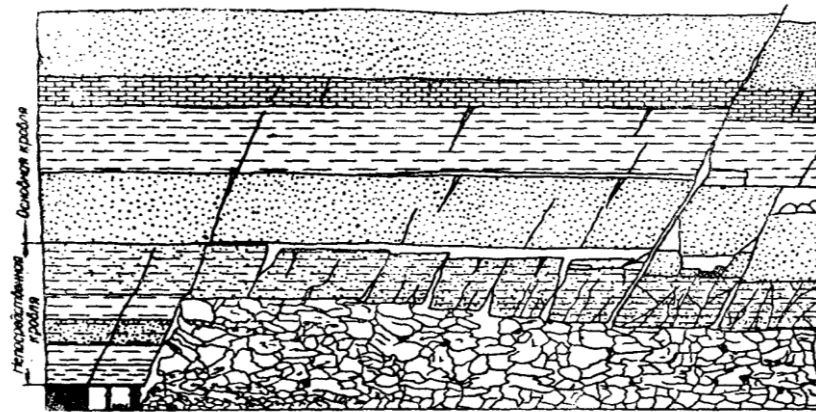


Рисунок 1.1 – Характер руху порід кривлі при роботі з повним обваленням.

При частковій закладці (рис. 1.2) і плавному опусканні стадія безладного обвалення не має місця. Багаточисельними маркшейдерськими спостереженнями встановлено, що в результаті розробок, осідання земної поверхні доходить до 50–60% від потужності розробляемого пласта.

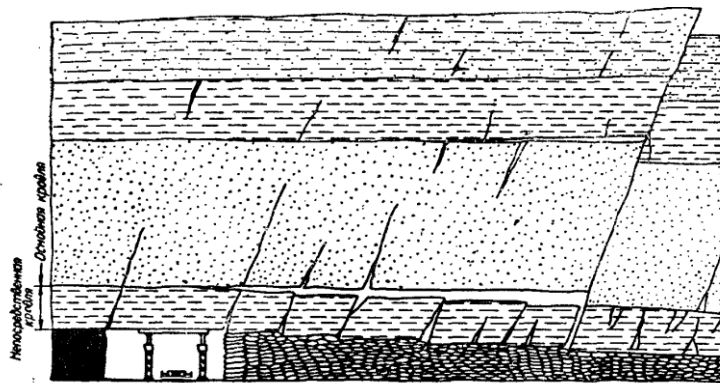


Рисунок 1.2 – Характер руху порід покрівлі при роботі з частковою закладкою.

Немає такої глибини, при якій процес руху не досягав би земної поверхні. З часом осідання порід на поверхні виражається у вигляді дуже пологої воронки, так званою мульдою зрушення, кордони якої виходять за межі виїмкової ділянки і визначаються кутами зрушення.

Час, протягом якого відбуваються найбільш активні рухи бічних порід, встановлений «Правилами охорони споруд» в 6 міс. Ця величина, визначена в результаті багаточисельних інструментальних спостережень, є середньою для існуючих умов Донбасу.

Загальний процес руху товщі порід складається з двох наступних процесів: обвалення або активного руху порід безпосередньої кривлі і подальшого переходу їх в рух і осідання товщі порід, лежачих вище за безпосередню покрівлю. Після виїмки вугілля перші прояви порушеної рівноваги виявляються в русі порід безпосередньої кривлі.

Як показали спостереження на полого падаючих пластах Донбасу, опускання різних шарів покрівлі відбувається в результаті ковзання призм, що збільшуються в розмірах по мірі віддалення від пласту. Зсуви або ковзання відбуваються по тріщинам, нахиленим під різними кутами залежно від міцності товщі покриваючих порід.

Слід розрізняти три види руху безпосередньої покрівлі в очисному вибої. Перший вигляд руху покрівлі. Після оголення покрівлі відбуваються відшарування і більш менш плавне опускання безпосередньої покрівлі у привибійному просторі (первинний тиск). Проте, оскільки величини опускання в межах привибійного простору значно перевищують ті, що допускаються пружними деформаціями порід, не можна пояснити це явище деформаціями без порушення суцільності покрівлі. Наявність багаточисельних малих і нерозкритих тріщин, що з'явилися в процесі розробок, дозволяє покрівлі опускатися уздовж площини цих тріщин. Таким чином, відбуваються непомітні для ока ступінчасті ковзання покрівлі. У результаті рух кривлі уздовж цих тріщин створює враження плавного опускання.

Цей вигляд руху характерний для більш менш в'язких і пластичних порід кривлі (сланці, вапняки).

Другий вигляд руху покрівлі. Після оголення покрівлі відбувається опускання її уздовж площини видимих тріщин. Ці тріщини є макроскопічними, походять від дії виймальних робіт і слідує за кожним врубом паралельно лінії забою. Залежно від характеру напруженого стану кривлі, тріщини розкриваються то більше, то менше, причому, від його характеру залежить і частота їх появи. Тріщини утворюються за площиною найменшого опору і мають кут падіння від 40 до 70 град, залежно від міцності порід.

По цих тріщинах відбувається ясно виражене опускання покрівлі окремими призмами, які стримуються між собою силами тертя бічних граней. Цей вигляд опускання покрівлі має найбільше поширення в Донецькому басейні і зустрічається в породах міцних і не крихких (міцні сланці, піскуваті сланці, пісковики).

Третій вигляд руху кривлі. Після оголення породи покрівлі поведуться приблизно як сипкі тіла. Це спостерігається при слабкій сипкій кривлі з наявністю пісків і глин.

Горизонтальні рухи покрівлі в напрямі, перпендикулярному руху забою, відбуваються в основному у бік руху вибою. Наявність площини тріщин, по яких відбуваються ковзання окремих призм порід покрівлі, створює той, або інший напрям руху залежно від напрямку падіння площини цих тріщин. Р.Н. Ковалів, працюючи з 1936 р. над моделюванням процесів руху гірських порід, запропонував метод моделювання еквівалентними матеріалами, що дає результати що, близько співпадають з тими, які мають місце в дійсності. Цей метод особливо значний при вивченні поведінки проміжної товщі і успішно застосовується рядом науково-дослідних інститутів: ВНІМІ, ВУГІ. Ідея моделювання еквівалентними матеріалами, запропонована Р.Н. Кузнецовим [2], полягає в наступному:

1. Модель товщі і виробленого простору корисних копалин

виготовляється з деяких штучних матеріалів з дотриманням геометричної подібності моделі і натури (об'єкта моделювання).

2. З метою досягнення механічної подібності на модель накладаються додаткові умови. Умови ці полягають в тому, що матеріали, з яких повинна виготовлятися модель, підбираються з такими фізико-механічними властивостями, які перебували б у певних співвідношеннях з фізико-механічними константами зруйнованих порід, представниками яких є дані матеріали.

3. Зазначені співвідношення визначають на підставі загального закону динамічної подоби, виходячи з умови одночасної дії сил тяжіння і внутрішнього напруження. Матеріал, що задовольняє за своєю механічною міцністю зазначеним вимогам при заданих властивостях моделюється з гірських порід і в заданому лінійному масштабі моделі, отримує назву «еквівалентного» для даного породного матеріалу.

4. Моделювання кріплення і закладки здійснюється шляхом введення в модель спеціальних приладів, робота яких також задовольняла б зазначеним вище вимогам механічної подібності кріплення в натурі.

Дослідження Г. Н. Кузнєцова показали, що:

1. Над виробленим простором можуть утворитися дві зони порушення цілісності порід: перша – зона безладного обвалення порід і друга, вище розміщена, – зона шарів порід, розбитих тріщинами на блоки, які в сукупності утворюють миттєву шарнірну систему, що опускається над виробленим простором закономірно, без випадіння окремих блоків по тріщинах.

2. Висота першої зони залежить від властивостей порід, що складають цю зону, і від елементів управління покрівлею. Зокрема, ця висота залежить від величини вільного простору, що залишається у виробленому просторі лави. У загальному випадку, чим менше буде ця потужність, тим менше буде висота зони безладного обвалення.

3. С характером шарнірної роботи суміжних блоків пов'язана

закономірність і періодичність опускання основної покрівлі.

При вивченні питань управління покрівлею слід розрізняти два види тиску порід (рис. 1.3):

1) первинний, пов'язаний з тиском безпосередньої покрівлі в межах приви́бійного простору; з цим тиском доводиться зазвичай зустрічатися в очисних вибоях;

2) вторинний, пов'язаний з тиском основної покрівлі; в утворенні цього тиску беруть участь значні товщі порід покрівлі. Кріплення, що встановлюється в лавах після виїмки вугілля, не може призупинити рух порід у вироблений простір, воно лише до деякої міри уповільнює його, сприймаючи невелику частину ваги порід, що залягають над нею.

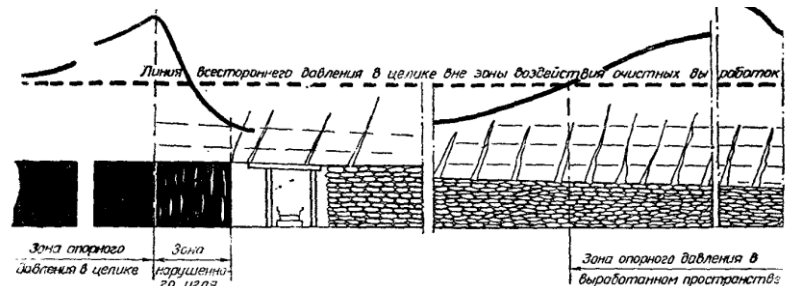


Рисунок 1.3 – Схема розподілу опорного тиску в очисному забої при управлінні покрівлею частковою закладкою.

Основна вага порід над виробленим простором сприймається вугільним вибоєм (передня опора) і закладкою або заваленої породою (задня опора), при цьому у призабійному просторі лави відбувається розвантаження від тиску ваги порід.

Опірний тиск складається в результаті накладення один на одного двох напружених станів: первинного напруженого стану, що існував в масиві вугілля до початку гірничих робіт, і додаткового напруженого стану, що виник при утворенні та руху очисної виробки.

На підставі вимірів, проведених в шахтних умовах, а також результатів теоретичних досліджень, можна намітити наступну схему розподілу напружень в очисних виробках, наведену на рисунку 1.3. Схема показує

поступове підвищення напруження в порушеній зоні вугілля у груді вибою, що йде в глиб цілика. По мірі відходу в глиб цілику створюються умови всебічного тиску, підвищують опірність вугільного пласту і порід. Максимальна напруга у вугіллі, а отже, і в оточуючих бічних породах виникає в зоні опорного тиску, що тягнеться на 10–25 м, а в окремих випадках-більше.

Дійшовши до максимуму тиск зменшується до величин, що визначаються глибиною залягання і знаходяться поза області впливу виробленого простору. Закладка або завалена порода, після достатнього ущільнення її, спускається покрівлю, сприймає опорний тиск на значній відстані від вибою (60-100 м і більше). Лінія, що обмежує зону опорного тиску, пересувається по мірі руху вибою, але її розміри і форми більш-менш зберігаються; вони змінюються лише при нерівномірному режимі робіт з управління покрівлю і виїмці.

Величина поширення зони опорного тиску залежить від міцності бічних порід і вугілля, глибини залягання пласта вугілля, способу управління покрівлю та ін. В підготовчих виробках, головним чином штреках, можна намітити три зони тиску в залежності від положення очисного вибою (рис. 1.4).

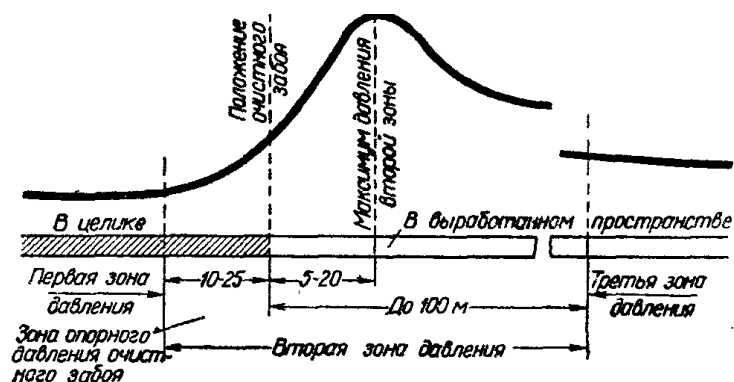


Рисунок 1.4 – Схема розподілення тиску в підготовчих виробках.

Першу зону можна виділити в тих випадках, коли штреки випереджають очисний вибій на відстань, що перевищує величину зони опорного тиску (понад 10-25 м); перша зона знаходиться в ціликах вугілля,

що не зазнають впливу очисного забою і зони опорного тиску.

Тиск, що випробовується виробкою у цій зоні, невеликий, кріплення може тут стояти без заміни досить довго. У міру наближення очисного вибою, як тільки починає впливати зона опорного тиску і динаміка очисного вибою, тиск на кріплення в штреках зростає. Динаміка очисного вибою викликає найбільш інтенсивний рух порід, а отже, і тиск в штреках. Найінтенсивніший рух і тиск мають місце в другій зоні в 5–20 м від забою у бік виробленого простору, після проходження очисного вибою.

Друга зона тиску є найбільш небезпечною; в ній спостерігаються найбільші руйнування, викликані тиском бічних порід. Для цієї зони характерні значні поломи кріплення, завали виробок, сильне піддування підосви і руйнування рудничних шляхів. Протягом 100–150 м від вибою динаміка його спричиняє помітний вплив на даній ділянці штреку. У міру віддалення очисного забою від даної ділянки підготовчої виробки породи починають потроху приходити в стан спокою.

За другою зоною (рис. 1.4) починається третя – зона усталеного тиску, в якій тиск ще протягом значного часу залишається великим, ніж в першій зоні, що пояснюється впливом загасаючої динаміки очисного вибою. Практично повне затухання настає на відстанях понад 600–1000 м. Протяжність кожної зони тиску і частка покрівлі і підосви в рухах визначаються міцністю і будовою бокових порід. Звідси випливає, що кріплення штреків повинне мати значну піддатливість, причому ця піддатливість не повинна бути вичерпана в період проходження і знаходження штреку попереду вибою в ціликах, вона повинна бути розрахована на значні рухи, які відбуваються в активній зоні і після проходження очисних робіт.

1.2. Руйнування порід в результаті відпрацювання вугільних пластів

Руйнування порід починається у другій зоні, активізується в третій, а в

четвертій відбувається бурхливо і носить динамічний характер. В принципі можливі два види руйнування шарів безпосередньої покрівлі: перший - розривні деформації в поєднанні з ковзанням призм, блоків; другий - пружний вигин породних шарів. Механізм деформації і руйнувань залежить перш за все від міцності і структурних характеристик порід в конкретній лаві, параметрів гірничих машин, технології та інших факторів [3].

У більшості шахт Донбасу превалюють розривні деформації шарів (рис. 1.5) безпосередній і основній покрівлі. Розрізняють три стадії руйнування порід у часі: початкову, до першого обвалення основної покрівлі. Розглянемо ці стадії і звернемо увагу, наприклад, на особливості деформації порід і роль параметрів кріплення і виїмкових машин в створенні умов для безпечного і високопродуктивної праці у вибої. Початкова стадія руйнування порід розглянута при вивченні розподілу напруження навколо розрізний печі. Отже, руйнування покриває товщі, починається ще під час проведення підготовчих виробок при буро-вибуховому способу проходки виробок.

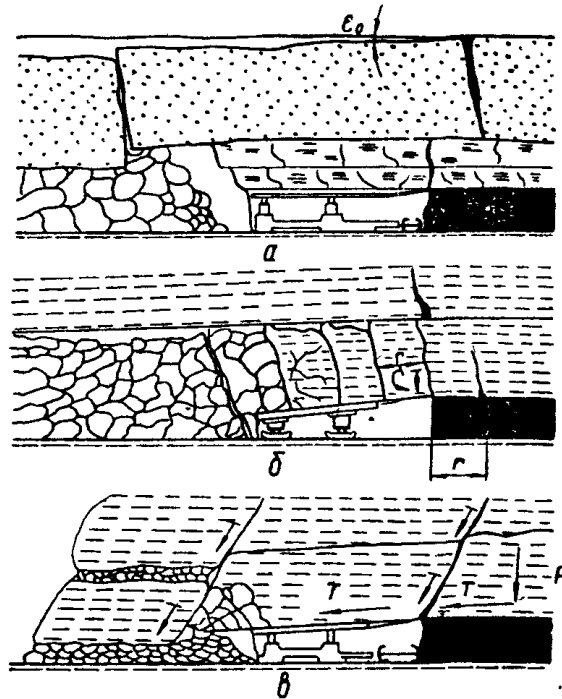


Рисунок 1.5 – Розривні деформації безпосередньої і основної покрівлі:
а - зсув покрівлі з віджимом вугілля; *б* - зріз з сувом безпосередньої покрівлі; *в* - зсув слоїв покрівлі за кліважем.

Механізм деформації і руйнуванні порід проявляється зазвичай до першого обвалення основної покрівлі, а розміщення завалених порід залежить від їх складу, будови, фізико-механічних характеристик, тріщинуватості, потужності пласта, кута падіння, способу управління покрівлею, швидкості просування вибою та інше. У Донецькому басейні, наприклад, на пологих пластах чітко зафіксовані наступні п'ять характерних випадків деформування, руйнування і обвалення порід на цій стадії. Перший випадок. За класифікацією ВУГІ, це породи І класу. Породи, легко обвалюємої покрівлі у виробленому просторі:

- механізм обвалення порід наступний (рис. 1.6): в результаті перерозподілу напружень, в тому числі під час пересування секцій, зв'язку на контактах між шарами, через розкриття природних і викликаних тріщин, зменшуються і стають рівними нулю. Горизонтальний розпір між призмами, блоками і брилами T зменшується, а потім зникає. Втрати зв'язків розпору призводять до випадання і безладного розміщення обваленого матеріалу на підшву виробки. При цьому завалений матеріал заповнює великий об'єм виробленого простору, ніж він займав в масиві. Г.Н. Кузнєцов та інші дослідники на моделі з еквівалентних матеріалів вивчили зміну коефіцієнта само-розпушення порід k_p .

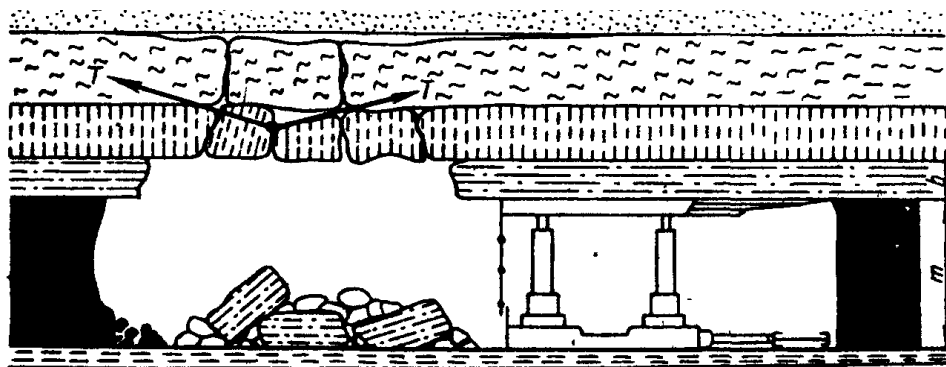


Рисунок 1.6 – Перший випадок деформації, обвалення і розпушення порід.

Величина його коливається в межах 1,25-1,40 і залежить від структури, текстури, тріщинуватості, потужності шарів, пласта, кута падіння і т.д. Очевидно, що великі значення коефіцієнта будуть в нижній частині зони

безладно розміщених порід, а менші – у верхній. Після обвалення перших шарів безпосередньої покрівлі і розміщення обваленого матеріалу одночасно з подальшим просуванням лави і збільшення зони обвалення висота вільного простору між заваленими і не обваленими породами поступово зменшується. При цьому відшаровуються розчленовані тріщинами породи; впорядковано само вкладаються на порушення породи. Коефіцієнт розпушення верхнього шару, що відшарувався і розчленованих порід (за даними Г.Н. Кузнецова) дорівнює 1,05–1,15.

Основна покрівля лежить вище безпосередньої покрівлі, це потужні шари міцних або середньої міцності порід, зазвичай пісковиків, вапняків та інших, крок обвалення яких більше кроку обвалення безпосередньої покрівлі (рис. 1.7). Шари основної покрівлі укладаються зазвичай впорядковано. Таке визначення, по суті, відображає механізм руйнування порід. Максимальний тиск на кріплення очисного вибою при відході лави відбувається саме в період первинної осадки важкообвалюємої основної покрівлі.

Кріплення працює при цьому в режимі «заданої деформації» і повинне мати достатній запас розсувних стійок, щоб скасувати надмірне динамічне навантаження. Крім того, швидкість зовнішнього навантаження в момент розлому основної покрівлі носить поштовхоподібний характер, отже, запобіжні пристрої повинні захистити стійки від деформацій циліндрів і інших деталей.

Основна покрівля після першого обвалу набуває нового стану рівноваги, розклинити між необваленими і заваленими породами, але для цього теж потрібен запас розсувних стійок «на посадку» порід. Тому, щоб при першій осадці важкообвалюємої основної покрівлі кріплення не вийшло з ладу, розробляють спеціальний паспорт управління покрівлею. В цьому випадку роботи в очисному вибої, в тому числі по первинній осадці важкообвалюємої покрівлі. Роботи повинні проводитися під керівництвом начальника дільниці.

Якщо ж основна покрівля при первинній осадці порушується на

невеликі блоки з невеликим кроком, то вона не створює небезпечні навантаження на кріплення очисного вибою.

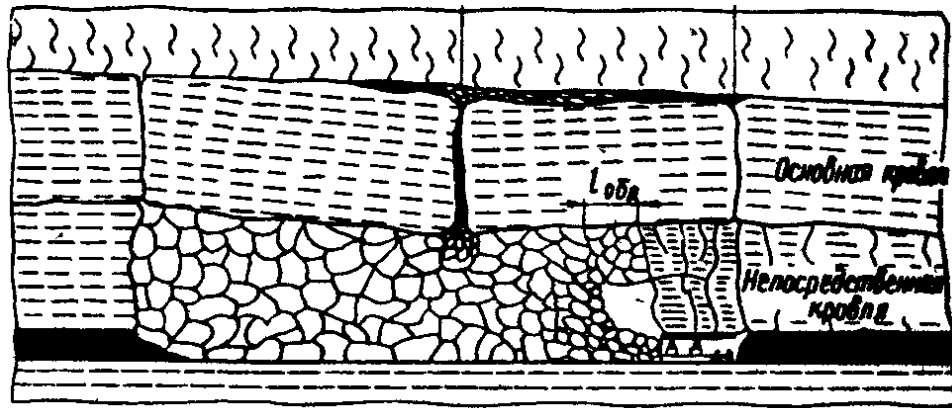


Рисунок 1.7 – Безпосередня і основна покрівля пласта.

Таку основну покрівлю називають легкокерованою і для неї не слід розробляти спеціальний паспорт управління. Наявність важкообвалюємої основної покрівлі при первинній осадці встановлюється досвідом роботи, а також ретельним аналізом структурних і геологічних особливостей покриваючих порід. Другий випадок. Якщо в першому випадку тонкі шари руйнувалися на елементи, які безладно укладалися на підшву завдяки $h < m$, то в другому $h > m$. Завалені породи при відході від розрізної печі в виробленому просторі відразу укладаються впорядковано, подібно деталей механізму з шарнірами в точках А, Б, В і Г (рис. 1.8).

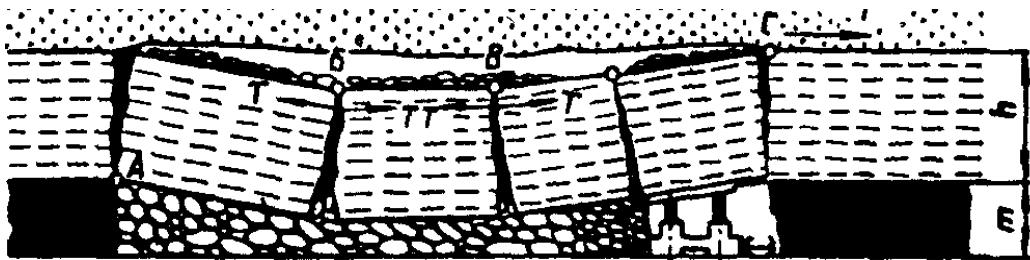


Рисунок 1.8 – «Шарнірне» розташування обрушених блоків порід покрівлі.

Сили T в цьому випадку утримують блоки завалених порід в певному порядку розташування. Такий або аналогічний механізм руйнування і укладання блоків порід можливий при управлінні покрівлею повним закладенням виробленого простору й почасти при плавному прогині покрівлі з розривами її суцільності. Перші осідання важкообвалюємої основної покрівлі та в цьому випадку так само небезпечні, як і в першому.

Третій випадок. У безпосередній покрівлі (рис. 1.9) залягають вапняки або пісковики. Міцні породи, потужністю до 2–3 м, а вище їх – потужна (десятки метрів) товща слабких порід (рис. 1.9).

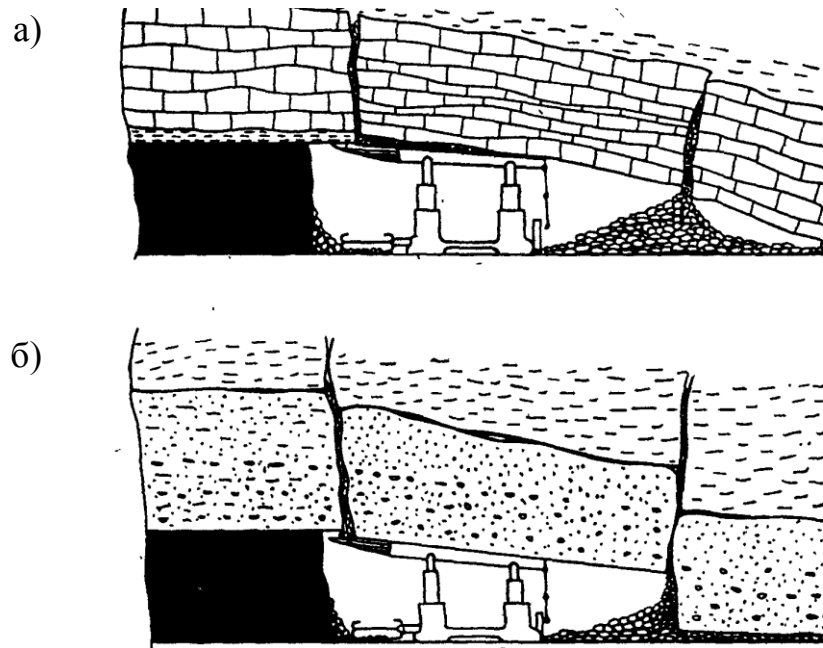


Рисунок 1.9 – Третій випадок руйнування порід покрівлі вапняку (а) і пісковика (б).

При цьому «шарнірної» роботи блоків може і не бути, незважаючи на дотримання умови $h > m$. Такі породи можуть раптово руйнуватися по тріщинах, заповненим кальцитом або іншим слабким мінералом, причому разом зі слабкими вище розташованими шарами і теж великими блоками (шириною 4–10 м). Кріплення очисного вибою в цей період може бути втиснуте у підшву або зруйноване. У другому і третьому випадках

руйнування порід, розпушення і осідання масиву порід невелике, так само 1,05–1,15 год.

Четвертий випадок. В безпосередній покрівлі залягають потужні і міцні шари важкообвалюємих порід, наприклад, пісковики шахт Східного Донбасу. Осадка шарів безпосередньої покрівлі в цьому випадку починаються при відході лави від розрізної печі на відстань рівну її довжині (приблизно 200 м). Полегшення обвалення таких порід змінюють торпедуванням, гідророзчепленням або потужним кріпленням. Кріплення очисного вибою для важкообвалюємих порід повинне мати збільшений опір і міцність. Крім того, в цих умовах доцільна механізована закладка вироблених просторів. Для першої осадки такої покрівлі обов'язкова розробка спеціальних паспортів управління бічними породами, яка передбачає заходи, що забезпечують безпеку робіт.

П'ятий випадок. Якщо над міцним і в'язким вугільним пластом залягають пухкі легко обвалюємі породи грудкуватої структури, то вони руйнуються на дрібні блоки над та попереду кріплення слідом за виїмкою вугілля (рис. 1.10).

При пересування секцій розчленовані породи у виробленому просторі розсипаються і безладно розміщуються на підшві пласту. Коефіцієнт розпушення таких порід в середньому становить 1,25–1,30. Отже, породи можуть підбучувати вище лежачі шари при потужності безпосередньої покрівлі, що дорівнює 4 м. Очевидно, що для самопідбучення утворився об'єм у виробленому просторі лави, потрібен об'єм породи, що дорівнює добутку потужності безпосередньої покрівлі $h_{н.к.}$, кроку обвалення $L_{обр}$ і коефіцієнта саморазрихлення порід k_p (рис. 3.11). Отже, $k_p = (h_{н.к.} + m) \cdot h_{н.к.}$, звідки $k_p = (h_{н.к.} + m) \cdot h_{н.к.}$, наприклад, рівне 1,25, при потужності безпосередньої покрівлі понад 4м в цих умовах (шахти Західного Донбасу та інших районів) можливе самопідбучення верхніх шарів покрівлі.

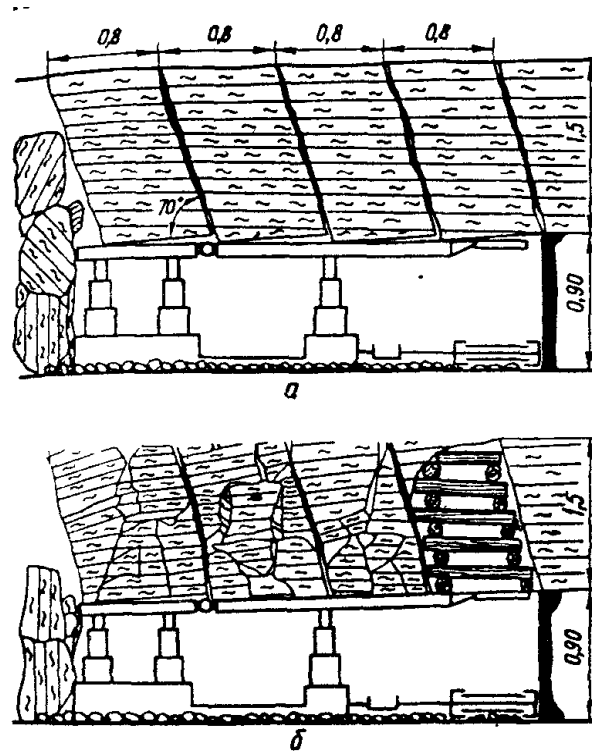


Рисунок 1.10 – Руїнація пухких порід покрівлі на блоки (а) і малі елементи (глиби) (б).

Вище розміщені, схильні до прогину шари, в цьому випадку не можуть створити суттєвого динамічного навантаження на кріплення очисного вибою, вони опускаються на м'яку «подушку» з розчленованих і завалених порід безпосередньої покрівлі.

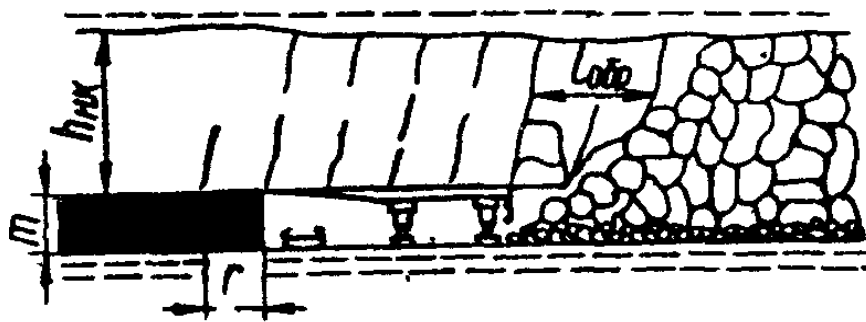


Рисунок 1.11 – Схема до визначення об'єму і самопідбучення порід.

Під час вимірювання опору секції кріплень в лавах шахт Західного Донбасу динамічних навантажень від дії основної покрівлі не зафіксовано, тому прийнято вважати, що в цьому випадку осідання основної покрівлі динамічно не виявляються.

1.3. Аналіз умов виникнення вивалоутворень

Загальна картина процесів, що відбуваються в масиві порід навколо очисної виробки, полягає у зміні поля статичних напружень і, як наслідок цього, у деформуванні навколишніх порід. Насамперед на контурі виробленого простору і в навколишньому масиві порід відбуваються пружні усунення. У деяких випадках, лише пружні зміщення. Однак це може мати місце тільки при дуже міцних породах та високому ступені монолітності масиву.

Набагато частіше у виробленому просторі за пружними зміщеннями порід покрівлі розвиваються непружні деформації і відбуваються локальні руйнування порід покрівлі. Цьому сприяє розвиток в навколишньому масиві зон концентрації як стискаючих, так і напружень, що розтягують. У процеси деформування залучаються великі обсяги порід, а внаслідок цього виявляються неоднорідності низьких порядків, по поверхнях яких масив найбільш ослаблений. Внаслідок цього в очисних вибоях розвиваються вивали порід покрівлі.

В умовах залягання в основній покрівлі пласта потужних і міцних порід, які зависаючи на великій площі, привантажують приконтурну частину пласта. При цьому над опорним контуром пласта відбувається інтенсивне деформування безпосередньої покрівлі з розкриттям структурно-літологічних тріщин та утворення нових систем, як тріщини сколу, відриву, роздавлювання.

Незадовільний стан слабкої вивалонебезпечної покрівлі значною мірою посилюється наявністю в гірському масиві різних плікативних, диз'юнктивних порушень, і особливо співвідношенням потужностей і характеристик міцності літологічних окремощів порід покрівлі, які важко піддаються прогнозуванню і попередньому виявленню. Вивали порід безпосередньої покрівлі у привибійний простір призводять до значних матеріальних витрат на ліквідацію їх наслідків та суттєво знижують безпеку

робіт у лаві.

Як відомо, гірські породи є анізотропними, тому їх механічні властивості відрізняються як у площині напластування, так і потужності пласта.

На думку В.І. Кравченко [4] ця анізотропність пояснюється, як властивостями самого матеріалу, так і умовами відкладення та утворення різних верств.

Шаруватість і тріщинуватість призводять до зменшення опору на розтяг і міцності порід. При цьому встановлено, що чим питоміша тріщинуватість, тим нижче є зазначені характеристики. Одним із факторів, що впливають на стійкість та визначальних характер обвалення порід покрівлі, є шаруватість. Стійкість і характер обвалення визначається не загальною потужністю покрівлі, а потужністю окремих її шарів: чим слабший зв'язок між шарами і менша їхня потужність, тим легше вони обрушуються.

В.І. Кравченко пропонує виразити стійкість порід наступною залежністю:

$$S = \frac{m \cdot \sigma_{CT} \cdot k}{H \cdot \gamma \cdot q} \quad (1.1)$$

де S – коефіцієнт стійкості незакріпленої покрівлі;

σ_{CT} – тимчасова межа міцності на стиснення безпосередньої покрівлі;

m – потужність пластової окремості безпосередньої покрівлі;

k – величина, обернена до площі незакріпленого простору покрівлі;

H – глибина залягання пластової окремості;

γ – середня об'ємна вага порід, що залягають над вугіллям;

$q = \sqrt{a}$ – коефіцієнт тріщинуватості;

a – кількість тріщин на 1 м^2 покрівлі.

Але ця формула не враховує швидкість руху очисного вибою, що не дозволяє отримати достовірні результати.

Доцільно навести експериментальні дослідження Ю.Б. Грядущого [5],

де він говорить про складові гірського тиску та їх вплив на стійкість порід покрівлі. Він зазначає, що вирішальне значення має не тільки структурний склад шарів покрівлі, але й властивості порід, що їх складають, і, зокрема, міцність. У загальному випадку внесок породного шару в динамічну складову гірського тиску тим більше, чим більше його потужність, міцність складових його порід і близькість розташування до оголення очисного вибою. Встановлена особливість була використана Ю.Б. Грядущим для розробки критерію стійкості покрівлі:

$$F = \frac{R}{k \cdot \gamma \cdot H} \cdot \frac{\ln T_{\text{д}}}{\left(\frac{R_o \cdot h_o}{Y_o^2} + \sum_{i=1}^n \frac{R_i \cdot h_i}{Y_i^2} \right) \cdot \frac{\lambda}{1+n}} \cdot \frac{P}{\ln t_o} \quad (1.2)$$

де R – середньозважена міцність порід покрівлі;

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{R_i \cdot h_i}{Y_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{Y_i}} \quad (1.3)$$

де k – коефіцієнт концентрації гірського тиску;

H – глибина розробки;

γ – об'ємна вага порід;

$T_{\text{д}}$ – довговічність порід покрівлі при їх тривалому оголенні;

R_o – міцність основної покрівлі;

h_o – потужність порід основної покрівлі;

Y_o – відстань від центру основної покрівлі до оголення в очисному вибої;

$\lambda = 0,0017$ – емпіричний коефіцієнт;

h_i – потужність i -го шару в масиві;

y_i – відстань від центру i -го шару в масиві до оголення в очисному вибої;

t_o – час оголення порід покрівлі;

P – відсіч кріпи.

Критерій (2) є величиною, обернено пропорційною ймовірності вивалоутворення. З іншого боку, Ю.Б. Грядущим був запропонований комбінований спосіб розвантаження-зміцнення покрівлі шляхом гідророзриву товщі та нагнітання скріплювального складу. Ефект від цього заходу враховує коефіцієнт концентрації у знаменнику формули (2). Але слід зазначити, що такий самий ефект, на думку автора, має і закладка виробленого простору, оскільки вона також зменшує прогин породних шарів покрівлі. З іншого боку, на думку Ю.Б. Грядущого [5] закладка реалізує ефект горизонтального підпору покрівлі, обмежує зсуви покрівлі у бік виробленого простору. Закладка частково доповнює роль кріплення ефективним відсіч у чисельнику формули (2).

Н.В. Хозяйкіна [6] пропонує використовувати інтегральний критерій міцності порід покрівлі:

$$a_{kp} = \frac{\sum R_{ci}^k \cdot k_{ci} \cdot h_i}{2 \cdot \gamma_{cp} \cdot \sum h_i} \quad (1.4)$$

де R_c – середньозважене значення межі міцності порід покрівлі на одновісне стиснення;

k_c – середньозважене значення коефіцієнта структурного ослаблення порід покрівлі;

γ_{cp} – середнє значення об'ємної ваги гірських порід;

h_i – міцність i -го шару гірських порід покрівлі.

На думку Н.О. Рязанцева [7] факт руйнування порід на опорному контурі означає, що максимальні напруги, що діють на її контурі $\sigma_{\max}$ досягли або перевищили межу міцності масиву на об'ємне тривісне стиснення. Руйнування покрівлі – явна ознака того, що в масиві максимальними за величиною є горизонтальні напруження, тобто, що вихідний напружений стан є гравітаційно-тектонічним. Коефіцієнт концентрації вертикальних напруг мало відрізняється від одиниці, тоді як коефіцієнт концентрації горизонтальних напруг на межі шарів різних літологічних різниць досягає

м, а розмір порожнин вивал розущільненого пісковика на окремих ділянках лави досягав 1 м.

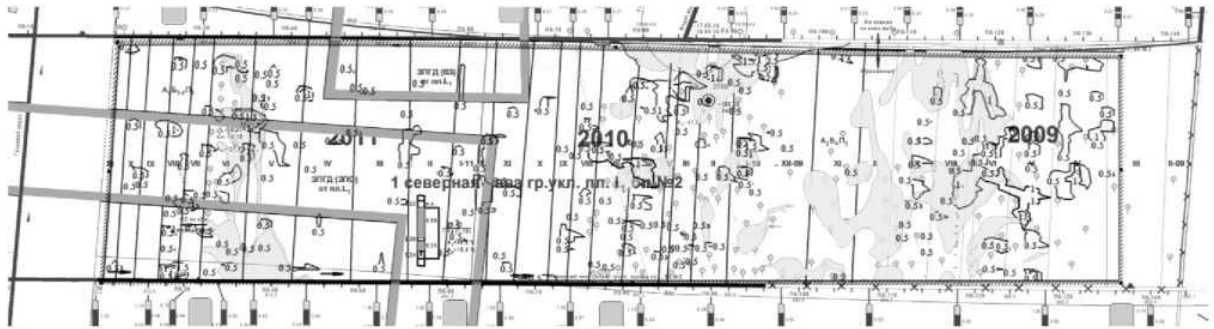


Рисунок 1.13 – Розподіл зон вивалів за площею виїмкового поля 1-ї північної лави пласта l_1 ВП «Шахти «Капітальна» («Стаханова»)

Раніше авторами [9] було встановлено, що на кількісні показники критерію вивалоутворення більшою мірою впливають: ефективна поверхнева енергія порід покрівлі, швидкість руху очисного вибою, довговічність порід покрівлі при оголенні, наявність зон ПГТ у виїмковому полі лави, наявність у покрівлі пласта природної площини розшарування як шарів вугілля чи різкого контакту шарів порід різних літологічних різниць, орієнтування природної системи тріщин у бік вибою, зміна літології порід покрівлі над вибоєм.

2. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Метою лабораторних досліджень є визначення в'язкості руйнування зразків алевроліту (безпосередня покрівля) при руйнуючих напруженнях зсуву з стисканням.

2.1. Методи лабораторного дослідження руйнуючих напружень при зсуві з стисненням

Показник міцності на зрушення (тимчасовий опір зрушенню), також як і межа міцності на стиск, широко застосовується для оцінки опірності гірських порід і вугілля руйнуванню, зокрема при визначенні опірності руйнуванню різальним інструментом [10].

Тимчасовий опір зрушенню зазвичай визначається при випробуванні зразків гірських порід на зріз, випробування зразків на крутіння не набуло поширення.

Для визначення тимчасового опору зрушенню випробуванням зразків на зріз із стисненням у ВВугГІ запропонований прилад (рис. 2.1) [11], який є деякою видозміною приладу, описаного Г.Л. Фісенко [12].

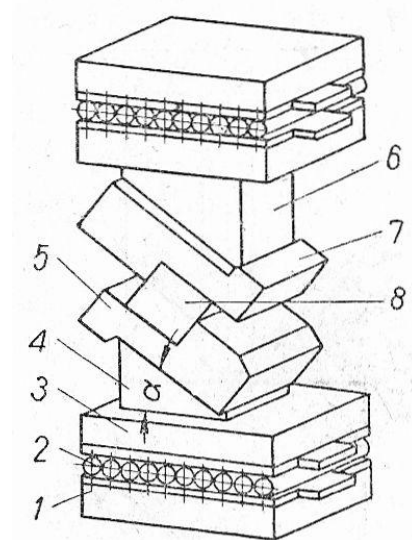


Рисунок 2.1 – Прилад ВВугГІ для одностороннього зрізу: 1 - тонка шліфувана пластинка; 2 - роликові катки; 3 - шліфувана плитка; 4 і 6 - клини; 5 і 7 - г-образні плити; 8 - зразок.

Наявність в комплекті приладу трьох пар металевих клинів з кутами нахилу 20° , 30° і 40° і пари клинових металевих прокладок з кутом 5° дозволяє встановлювати зразок при випробуваннях під кутами від 20° до 70° з інтервалами через 5° . Для зменшення тертя при випробуваннях в приладі застосовані дві пари металевих не шліфованих плит (розміром 170×210 мм), між якими міститься по 13 катків (сталь У7) діаметром 14 мм і довжиною 140 мм. Наявність між плитами і катками додаткових плит (сталь Ст. 5), а також рясне змащення катків і плит під час випробувань зводять вплив тертя до мінімуму.

Граничні нормальні σ_{np} і дотичні τ_{np} напруження, що діють в площині зсуву, обчислюють за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{np} &= \frac{P}{F} \left(\cos \alpha + f_k \sin \alpha \right) \\ \tau_{np} &= \frac{P}{F} \left(\sin \alpha - f_k \cos \alpha \right) \end{aligned} \right\}, \quad (2.1)$$

де P – зусилля, що розвивається пресом, кН;

F – площа поверхні сколювання зразка, м^2 ;

α – кут установки зразка;

f_k – коефіцієнт тертя кочення при наявності катків або коефіцієнт тертя спокою при відсутності катків і мастила.

Повне напруження σ_o , діє на площину зрізу, визначається формулою

$$\sigma_o = \sqrt{\sigma_{np}^2 + \tau_{np}^2} = \frac{P}{F} \sqrt{1 + f_k^2}. \quad (2.2)$$

Коэффициент трения вычисляется из соотношения

$$f_k = \frac{f_1 + f_2}{n \cdot d} \quad (2.3)$$

де f_1 і f_2 – коефіцієнти тертя кочення відповідно між плитою преса і катком і між катком і приладом;

n – число катків;

d – діаметр катків, мм.

У разі, коли катки, плити і прилад зроблені зі сталі, можна прийняти $f_1 = f_2 = 0,5$, і формула для визначення коефіцієнта тертя має вигляд:

$$f_k = \frac{1}{n \cdot d}$$
 Для сухих поверхонь і тертя стали по сталі без катків коефіцієнт тертя $f_k = 0,15$.

Описаний прилад дозволяє виконати випробування на зріз на зразках, виготовлених із кернів. Для цього зрізують бічні стінки керна. Висота зразка повинна бути дорівнювати відстані між отриманими паралельними бічними площинами.

2.2. Лабораторні дослідження руйнуючих напружень при зсуві з стисненням

Підготовка зразків гірської породи для лабораторних досліджень.

Із зразків породи (алевроліту) неправильної форми за допомогою верстата для різання каменю (рис. 2.5) були підготовлений зразки кубічної форми розміром 50×50×50 мм.

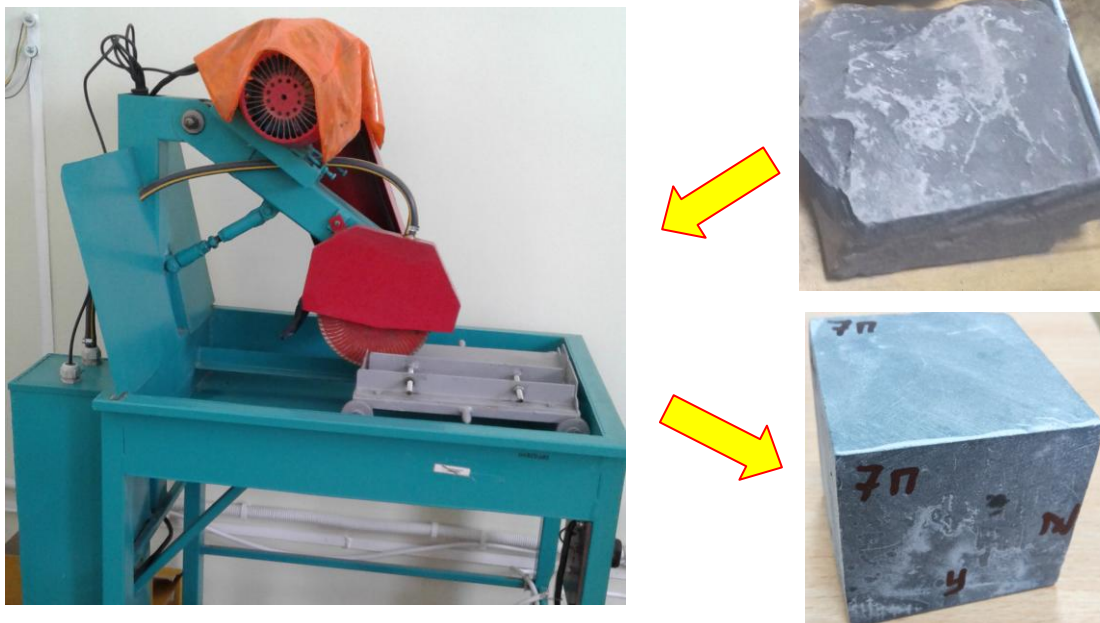


Рисунок 2.5 – Каменерізний верстат і підготовлений зразок породи кубічної форми.

Висушування зразків проводилося за допомогою сушильної шафи при температурі 115–120°C, а остигання зразків здійснювалося в ексикаторі з додавання хлористого калію (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Сушильна шафа з термометром і ексикатор

Усі зразки були зважені на електронних вагах ФЕН ДНЕПРОВЕС® (рис. 2.7, а) з точністю 0,01 гр. Виміри геометричних параметрів зразків проводилися електронним штангенциркулем (рис. 2.7, б) з точністю до 0,01 мм.



а)



б)

Рисунок 2.7 – Електронні ваги Фен ДНЕПРОВЕС® (а), Електронний штангенциркуль (б)

У якості установки випробування використовувався гідравлічний прес П-50 (рис. 2.8), з максимальним зусиллям 50 тонн.



Рисунок 2.8 – Гідравлічний прес П-50.

Для реалізації експерименту «зсув з стисненням» були виготовлені окремо металеві матриці з кутом нахилу 15° , 30° та 45° (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Металеві матриці з кутом нахилу 15° , 30° та 45° .

Виконання експерименту фіксувалося на фото і відео спостереження. Були отримані максимальні руйнуючі навантаження (табл. 2.1).

Граничні нормальні σ_{np} і дотичні τ_{np} напруження, що діють в площині зсуву, обчислюють за формулами (2.1):

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{np} &= \frac{P}{F} (\cos \alpha + f_k \sin \alpha) \\ \tau_{np} &= \frac{P}{F} (\sin \alpha - f_k \cos \alpha) \end{aligned} \right\},$$

де P – зусилля, що розвивається пресом, кН;

F – площа поверхні сколювання зразка, м²;

α – кут установки зразка;

f_k – коефіцієнт тертя кочення при наявності катків або коефіцієнт тертя спокою при відсутності катків і мастила $f_k = 0,15$.

2.3. Результати лабораторних досліджень

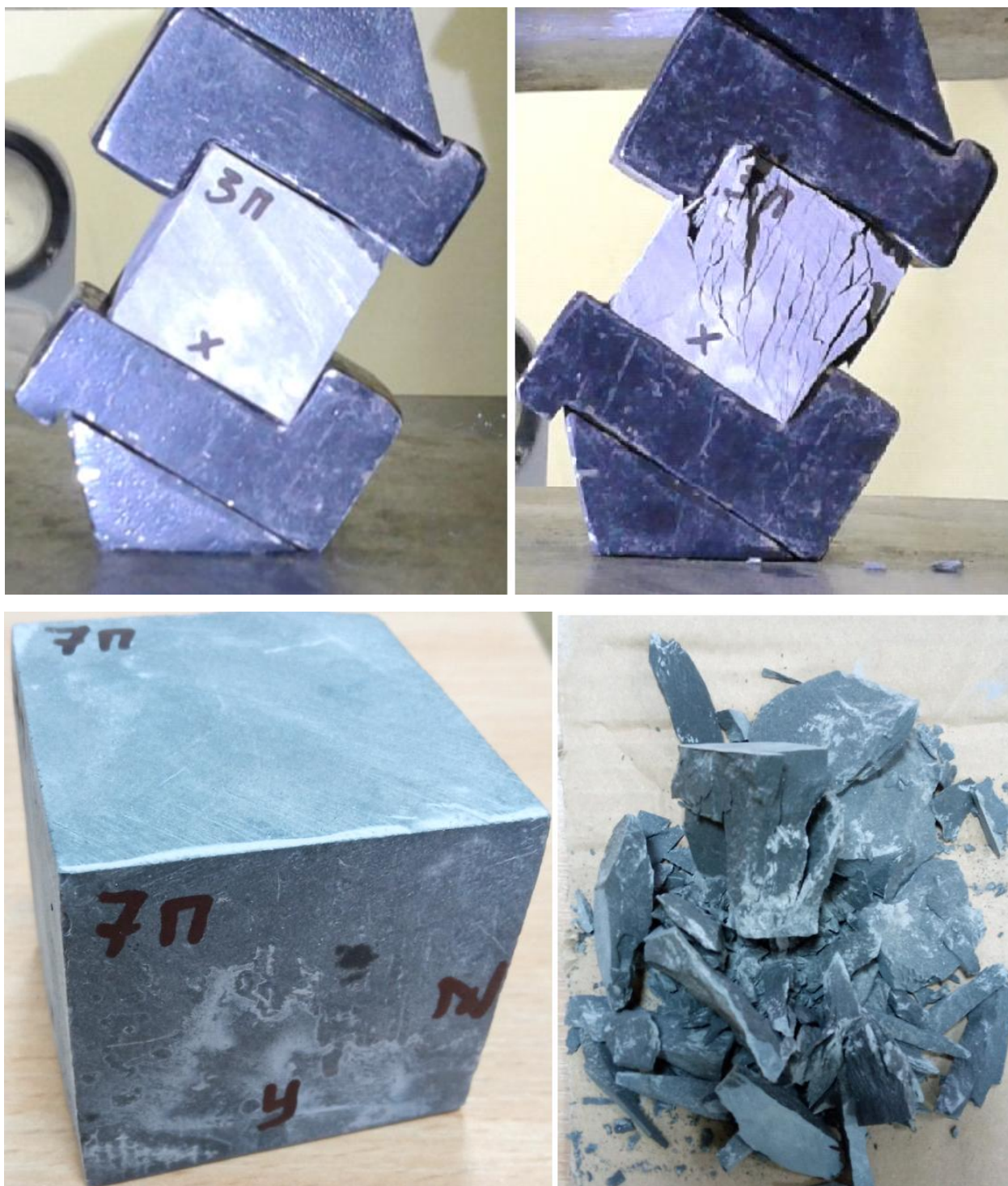
До експерименту були вибрані 3-и зразки алевроліту: №7 – кут нахилу матриць 15°, №3 – кут нахилу матриць 30°, і №8 – кут нахилу матриць 45°.

Параметри руйнування зразків алевроліту при випробуванні на зсув з стисненням за різним кутом нахилу металевих матриць відображено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 –

Результати граничних нормальних σ_{np} і дотичних τ_{np} напружень

№ зразка	Кут нахилу α , °	Максимальне навантаження P , кН	Граничні нормальні напруження σ_{np} , МПа	Граничні дотичні напруження τ_{np} , МПа
7	15	30,94	18,64	2,11
3	30	27,60	15,771	6,20
8	45	21,33	11,145	8,24



а)

б)

Рисунок 2. – Руйнування зразків сланцю піщаного при випробуванні на зсув з стисненням: а – зразок до випробування; б – зразок після випробування

Зі збільшенням кута нахилу зразка при випробуванні маємо тенденцію зменшення нормальних руйнуючих напружень (рис. 2.10)

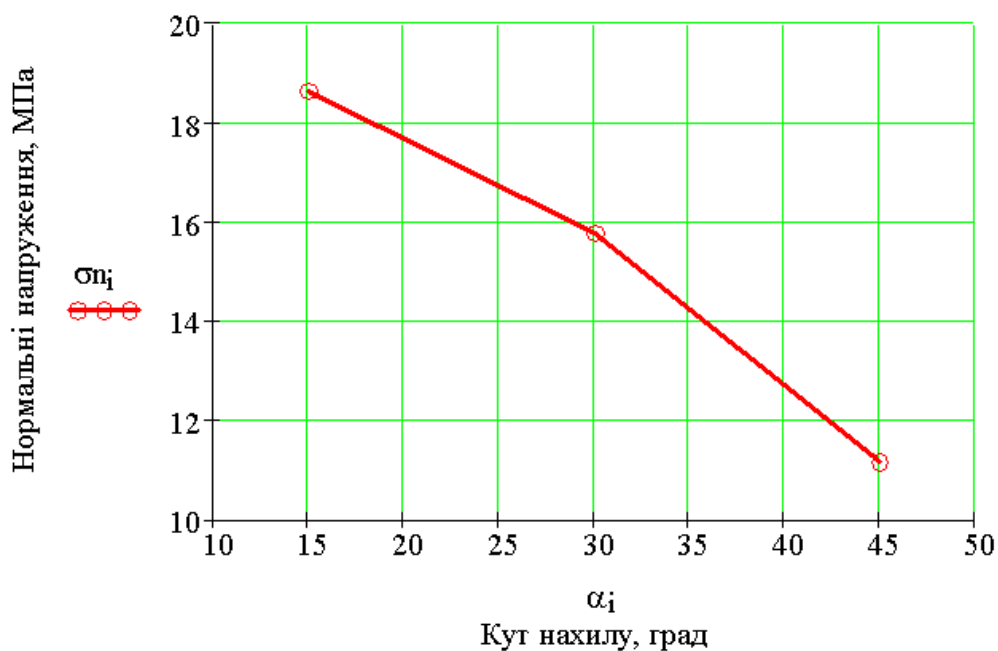


Рисунок 2.10 – Залежність нормальних напружень від кута нахилу зразка

Зі збільшенням кута нахилу зразка при випробуванні маємо тенденцію лінійного зростання дотичних руйнуючих напружень (рис. 2.11).

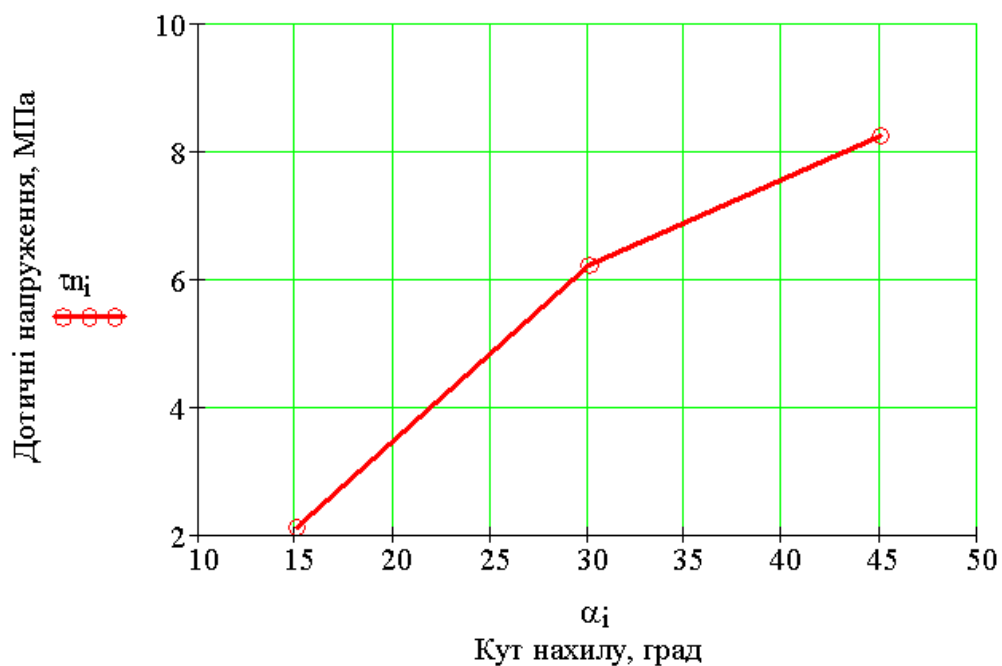


Рисунок 2.11 – Залежність дотичних напружень від кута нахилу зразка

От же зміна кута нахилу зразка змінює долю участі руйнуючих напружень – перетворюючи стискаючи напруження у дотичні і навпаки (рис. 2.12)



Рисунок 2.12 – Залежність дотичних від нормальних напружень

Лабораторними дослідженнями було встановлено, що при руйнуванні породи на стискання з зсувом, зі збільшенням стискаючих напружень зменшуються дотичні напруження і, навпаки, чим менше стискаючі напруження тим більше дотичні напруження.

2.3. Визначення критерію руйнування порід з урахуванням їх тріщиностійкості

Визначимо в'язкість руйнування зразків алевроліту при руйнуючих напруженнях зсуву з стисканням. Для цього знайдемо ефективний коефіцієнт інтенсивності напруження по формулі [13]:

$$K_{ef} = \sqrt{K_I^2 + K_{II}^2}, \text{ МПа} \sqrt{м} \quad (2.8)$$

де K_I і K_{II} – коефіцієнти інтенсивності напруження по схемам відриву і зсуву відповідно.

Знайдемо коефіцієнти інтенсивності напруження при знайдених максимальних нормальних і дотичних напруженнях:

$$\begin{cases} K_I = \sigma_{np} \sqrt{\pi \cdot l} \\ K_{II} = \tau_{np} \sqrt{\pi \cdot l} \end{cases}, \text{ МПа} \sqrt{\text{м}} \quad (2.9)$$

де σ_{np} , τ_{np} – граничні нормальні і дотичні напруження, МПа;

l – довжина тріщини, м.

Результати розрахунку запишемо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 –

Параметри тріщиностійкості для алевроліту по результатах випробування

№ зразку	Граничні нормальні напруження σ_{np} , МПа	Граничні дотичні напруження τ_{np} , МПа	Коефіцієнти інтенсивності напруження по схемі відриву K_I , МПа $\sqrt{\text{м}}$	Коефіцієнти інтенсивності напруження по схемі зсуву K_{II} , МПа $\sqrt{\text{м}}$	Ефективний коефіцієнт інтенсивності напруження K_{ef} , МПа $\sqrt{\text{м}}$
7	18,64	2,11	1,045	0,118	1,051
3	15,771	6,20	0,884	0,348	0,95
8	11,145	8,24	0,625	0,462	0,777
середнє			0,851	0,309	0,926

Отриманий ефективний коефіцієнт інтенсивності напруження K_{ef} уявляє собою в'язкість руйнування алевроліту на площадці руйнування при дії нормальних та дотичних напруженнях. У цьому випадку можемо записати критерій руйнування порід у масиві:

$$K_{d.ef} \leq K_{ef} \quad (2.10)$$

де $K_{d.ef}$ – діючий ефективний коефіцієнт інтенсивності напруження у масиві.

3. ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГІРСЬКИХ ПОРІД НАВКОЛО ОЧИСНИХ ВИРОБОК

Метою чисельного дослідження напружено-деформованого стану гірських порід навколо очисних виробок є визначення послідовності обвалення шарів покрівлі, та визначення зон руйнування порід безпосередньої покрівлі.

3.1. Математична модель напружено-деформованого стану масиву що підробляється

Згідно з даними геологічного розрізу гірський масив уявляється у вигляді шаруватой структури різноманітних типів порід різної потужності.

Відомо, що при веденні очисних робіт відбувається зрушення гірського масиву над виробленим простором. В результаті відбувається зміна напружено-деформованого стану породних шарів, пов'язаного з посуванням очисного вибою і відповідно зі збільшенням виробленого простору. Крім того, на перерозподіл напружено-деформованого стану впливають як обвалені, так і породні шари які зависли. Взаємодія породних шарів супроводжується розшаруванням, групуванням і обваленням порід покрівлі.

Як відбувається перерозподіл напружень в породах покрівлі над очисним забоєм в результаті їх обвалення можна з'ясувати, використовуючи фізико-математичну модель шаруватого гірського масиву. Визначати напружено-деформований стан будемо за допомогою чисельного моделювання об'ємної моделі гірського масиву порід над очисним вибоєм. Задамо кожний породний шар, як окрему дискретну частину моделі зі своїми властивостями. Між породними шарами задамо умови контактної взаємодії. Таким чином породний масив в цілому є дискретною складовою, але в межах шару є суцільним середовищем.

Для об'ємного напружено-деформованого стану моделі потрібні умови рівноваги, що описуються виразами [14]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \rho X &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \rho Y &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \rho Z &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де ρ – щільність речовини;

X, Y, Z – проекції об'ємних сил на осі координат, віднесені до одиниці маси.

Маємо рівняння нерозривності деформацій, що відображає те, що в процесі деформацій суцільність середовища не порушується:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}, \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z}, \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x}, \\ \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) &= 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x \partial y}, \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} - \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} \right) &= 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z}, \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} \right) &= 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z \partial x}. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Основна і обов'язкова умова справедливості цих рівнянь – це суцільність або нерозривність середовища, як до початку деформації, так і у процесі деформації.

Додаткові рівняння, що зв'язують деформації з напруженням, що відображають фізичні особливості розвитку деформацій, для ізотропного середовища (узагальнений закон Гука) [15]:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} \sigma_x - \mu \sigma_y + \sigma_z \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}, \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} \sigma_y - \mu \sigma_x + \sigma_z \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}, \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} \sigma_z - \mu \sigma_x - \mu \sigma_y + \sigma_z \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G}. \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Математичне моделювання контакту різних середовищ вимагає опису граничних умов контакту між елементами моделі.

Для точок, що лежать на лінії розділу під областей, які контактують між собою, граничні умови представлені у вигляді нерівностей [16]:

$$u_n^{i-1} + u_n^{i+1} - \delta_n^i \leq 0; \quad \sigma_n^i \leq 0; \quad u_n^{i-1} + u_n^{i+1} - \delta_n^i \cdot \sigma_n^i = 0, \quad (3.4)$$

де u_n^{i-1} , u_n^{i+1} и δ_n^i – переміщення точок підобластей S_{i-1} , S_{i+1} і початковий зазор (натяг) в напрямку позитивних нормалей контактуючих ділянок, нахил яких збігається з напрямком загальної нормалі n ; σ_n^i – напруження взаємодії тіл у напрямку нормалі n .

Умови фрикційної взаємодії на точках контакту приймаються у формі закону Кулона. При цьому нормальні σ_n^i і дотичні τ_n^i напруження підпорядковані співвідношенню:

$$|\tau_n^i| \leq f_{mp} \sigma_n^i, \quad (3.5)$$

де f_{tp} – коефіцієнт сухого тертя.

Співвідношення (5) виконується за рахунок проковзування контактуючих поверхонь один щодо одного, стримуваних фрикційними дотичними напруженнями.

В моделі присутні породні шари покрівлі та подошви, пласт вугілля що відпрацьовується, та пласти-супутники (якщо в них є потреба). Модель має достатній динамічний розмір по мірі збільшення виробленого простору, так як необхідно моделювати постійний цілик вугілля (рис. 1).

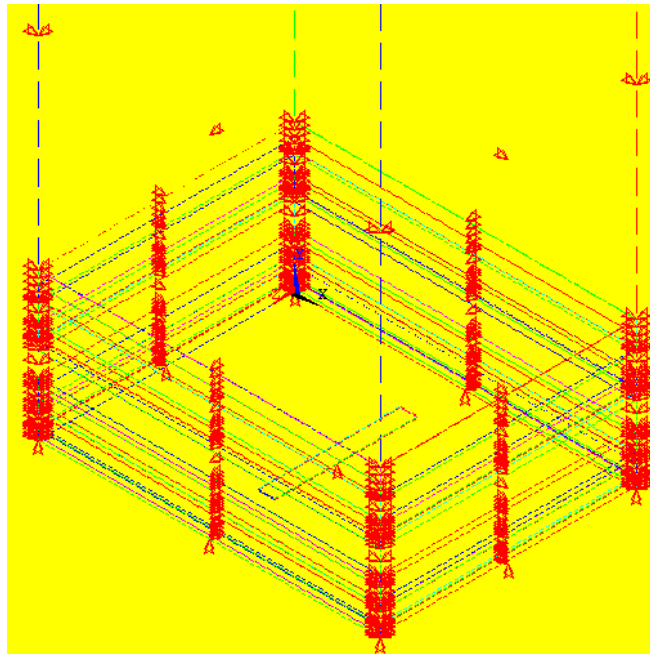


Рисунок 3.1 – Об'ємна модель для чисельного моделювання напружено-деформованого стану з виробленим простором у центрі

Щоб не задавати граничні умови навантаження, змодельємо гірський масив до самої поверхні. Використовуємо для моделювання ті породні шари які будуть приймати участь у зміщенні над виробленим простором, а останні шари до поверхні задамо суцільним середовищем. Навантаження моделі здійснюється гравітаційними силами, тобто для окремого шару порід чи вугілля задається щільність. Таким чином навантаження шарів відбувається за допомогою ваги самих порід. Ті шари, що залягають над іншими, через контактні пари передають навантаження один одному. Сили тертя між шарами теж моделюються контактними парами.

На бокових гранях граничні умови деформування моделі дорівнюють нулю. Сама нижня грань моделі теж немає зміщення. Таким чином, бокове напруження буде створюватися за рахунок поперечних деформацій.

Якщо лава одиночна і моделюється гірський масив до самої поверхні, то моделювання виробок при такому масштабі немає сенсу, отже розмір кінцевого елементу може бути більш розмірів виробки. Це потрібно для оптимізації моделі у плані витрат розрахункового часу.

3.2. Чисельні дослідження напружено-деформованого стану масиву що підроблюється

3.2.1. Гірничо-геологічна характеристика умов відробки 9 північної лави блоку №10 пласта d_4

9-а північна лава блоку №10 (рис. 3.2) розташована в північно-східній частині шахтного поля. Очисні роботи ведуться по простяганню. Система управління покрівлею – повне обвалення.

Довжина виймального стовпа – 1667м.

Довжина лави – 250 м.

Промислові запаси – 526 т.т.

Балансові запаси – 566 т.т.

Вугільний пласт d_4 на ділянці ведення гірничих робіт має просту будову. Потужність вугільного пласта коливається від 1,20м до 1,32м. Середня потужність пласта складає 1,26м. Кут падіння пласта коливається у діапазоні 3–4°.

Природна газоносність вугільного пласта на площі відпрацювання виймкового стовпа - 6,0-18,7 м³/т.с.б.м, природна газоносність пісковиків – 0,15-6,9 м³/м³ породи. Вугільний пласт на площі виймального поля віднесений до небезпечних за раптовими викидами вугілля і газу, не схильний до самозаймання, по пилу небезпечний. Пісковики небезпечні за раптовими викидами. Лава не є небезпечною з руйнування ґрунту і проривів метану з ґрунту.

Обводнення лави буде пов'язана з двома водоносними горизонтами, пісковиками d_3Sd_4 і $d_4Sd_4^1$, що залягають у ґрунті і покрівлі. Очікуваний приток по виймковому стовпу 8–10 м³/год. Після посадки основної покрівлі стало збільшення водо-припливу до 10–15 м³/год. Скупчення води по штреку відбуватиметься на ділянках зниженого профілю, де необхідно передбачити

спорудження водозбірників. Лава буде підробляти розвідувальні свердловини №3642, №4295, 3900, 4301, 3898 в разі їх неякісного тампонажу можливий прорив води. Води, що формуються в гірничих виробках, хлоридно-натрієвого типу з мінералізацією 16,5–28,3 г/л, жорсткі, сильно-агресивні до сталевих конструкцій.

При відпрацюванні лави первинна посадка основної покрівлі відбудеться через 40–45 м. Крок періодичної посадки основної покрівлі 10–15 м, безпосередньої покрівлі 1–3 м.

Вугільний пласт d_4 на площі виїмкового поля віднесений до небезпечного за раптовими викидами вугілля і газу, не схильний до самозаймання, по пилу небезпечний. Пісковики є викидонебезпечні. Лава не є небезпечною за раптовими проривами метану з ґрунту і її руйнування в зонах тектонічних порушень.

Середній вміст SiO_2 у вміщаючих породах: алевроліти 10-70%, пісковики 40-90%.

Температура порід – 33–35 °С.

Фактори, що ускладнюють ведення гірничих робіт:

- перехід зон геологічних порушень розмивів, зон підвищеної тріщинуватості порід;
- хвиляста гіпсометрія пласта і вміщуючих порід;
- підвищене виділення метану в зонах геологічних порушень;
- перехід зон зміни літології порід покрівлі;
- схильність ґрунту до здимання.

Небезпечні зони: зони геологічного порушення; зони бар'єрних ціликів під розвідувальними свердловинами №3642, №3900, №4301, №3898.

Характеристика вміщуючих порід 9-ї північної лави блоку №10 (табл. 3.1)

Таблиця 3.1 –

Характеристика вміщуючих порід 9-ї північної лави блоку №10

№	Нормальна потужність, м	Опис вміщуючих порід	Вологість первинна, %	Щільність, т/м ³	Пористість, %	Межа міцності на стискання, МПа	Межа міцності на розрив, МПа	Стійкість покрівлі і ґрунту
1	8.8-16.40	Пісковик - світло-сірий, дрібнозернистий, кварцево-полевошпатовий, слюдистий, потужністю 1.0 м ізвестковистий, в основному нешаруватий, лише незначними інтервалами з тонкої штрихувато-переривчатою шаруватістю, обумовленої перешарованими з алевролітом і скупчення обвугленого шламу, зрідка по шару по нашаруванню нальоти блискучого вугілля, контакт виразний. У нижній частині шару 2.95-7.95 потужністю 5.0м з тонкими плитками товщиною 0.5-1 см, не мають стійкого зв'язку між собою. Міцний.	2,53-2,55	2,69	5,20-9,50	54,3-81	4-6	A2
2	0.40-6.00	Алевроліт - темно-сірий, дрібнозернистий, глинисто-слюдистий, нешаруватий, грудкуватий, "кучерявчик", по нашаруванню зрідка дрібні нальоти і блискітки вугілля, контакт виразний, середньої міцності.	1,10-1,21	2,71-2,77	3,5-4,65	40,2-50,5	3-5	Б3, Б4
3	0.9-3.23	Вугілля d ₄ - чорний, напів-блискучий, з прошарками блискучого вугілля, фіузен у вигляді одиночних лінз, прімазок, простої будови, середньої міцності.	2,2	1,34	-	10-15	-	
4	0.63-12.3	Алевроліт - темно-сірий, дрібнозернистий, глинисто-слюдистий, нешаруватий, грудкуватий, "кучерявчик", по нашаруванню зрідка дрібні нальоти і блискітки вугілля, контакт виразний, середньої міцності.	1,10-1,21	2,71-2,77	3,5-4,65	40,2-50,5	3-5	П2

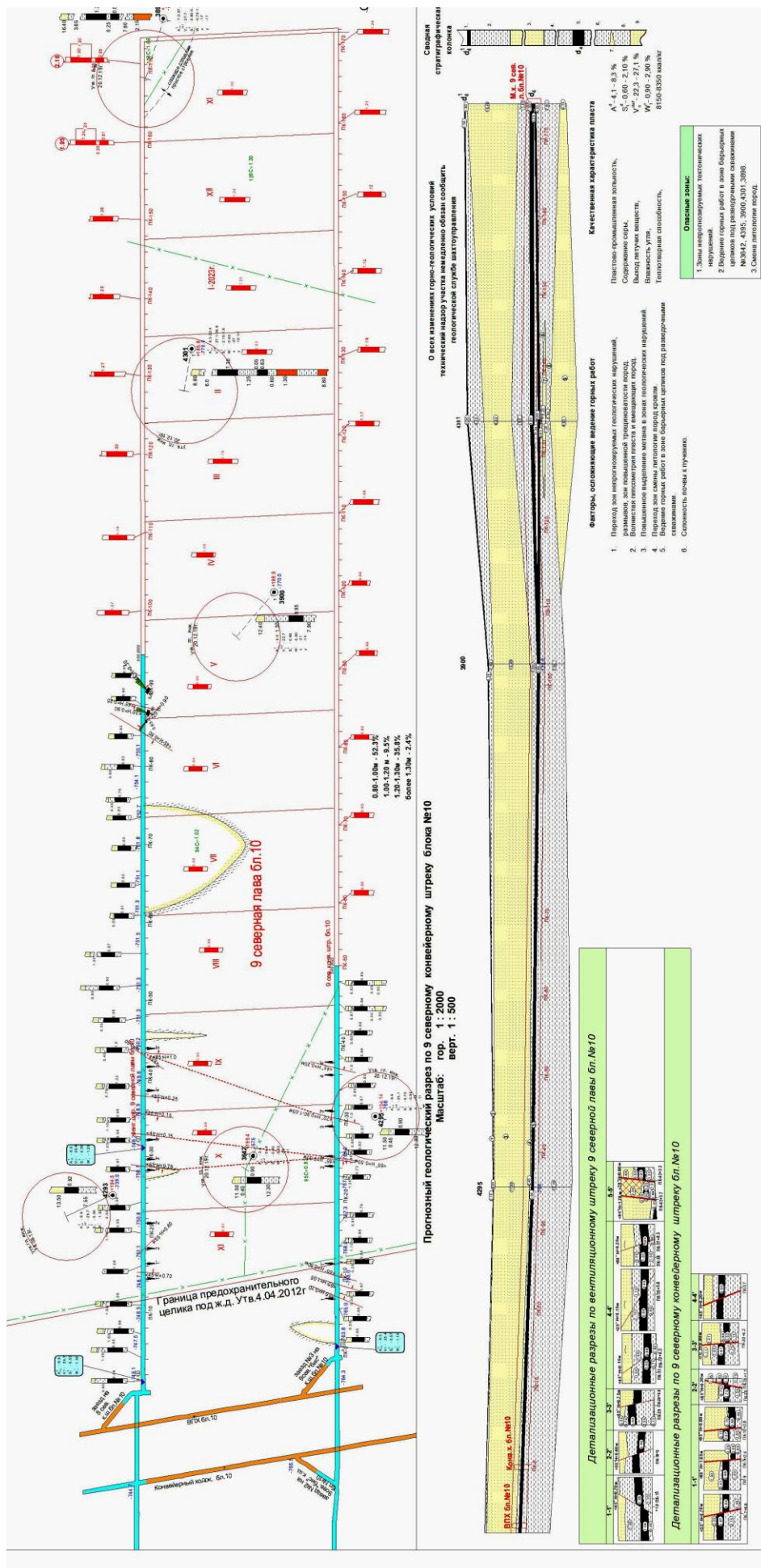


Рисунок 3.2 – Прогноз гірничо-геологічних умов відробки 9-ї північної лави бл. №10

3.2.2. Результати численного дослідження об'ємного напружено-деформованого стану підроблюємого масиву 9-ї північної лави блоку №10

Виконавши чисельний та аналітичний розрахунок напружень з використанням програмних комплексів ANSYS і Mathcad [17, 18], і встановивши області що мають перевищення граничного стану (критичні області), згідно з фізичними властивостями гірських порід, визначаємо породні шари, які обвалюються на даний момент.

Показники напруження з об'ємної моделі гірського масиву знімалися за допомогою скануючих ліній, проведених по довжині виїмкового стовпа, з відстанню одна від одною – 5 м. Тобто, якщо довжина лави 250 м, то кількість ліній складе – 50 од.

Для доцільної обробки напружено-деформованого стану моделі, будемо розглядати січні перетини у горизонтальному положенні. На яких будемо визначати осьові та головні нормальні напруження, дотичні напруження та деформацію. Кількість січних перетинів для кожного породного шару будемо визначати окремо. Таким чином, володіємо повною картиною напружено-деформованого стану для кожного шару покрівлі.

Зони руйнування породних шарів будемо визначати за допомогою критерію Кулона-Мора. А зони вивалоутворення за допомогою критерію тріщиностійкості.

Це можливо зробити, якщо визначати на перетині кожен шар за «1» – якщо критерій виконується, та за «0» – якщо критерій не виконується. Таким чином, ми визначимо контури зони руйнування на перетині породного шару. Для визначення висоти зони руйнування, треба розглянути напружений стан інших перетинів по висоті породного шару.

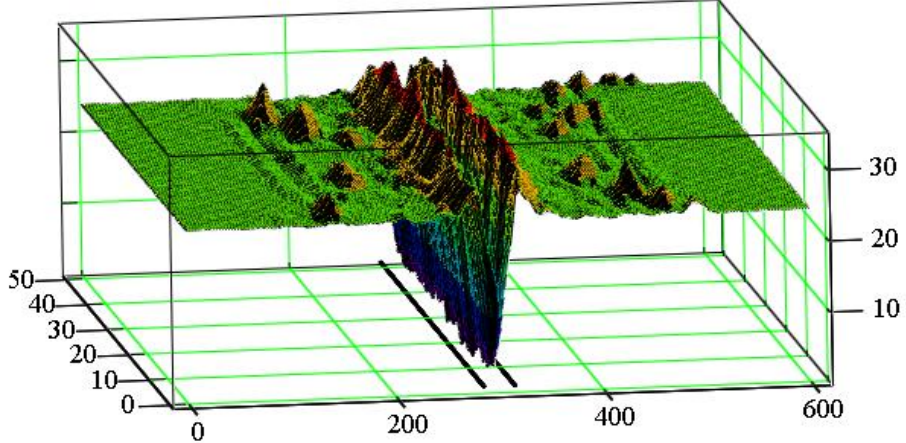
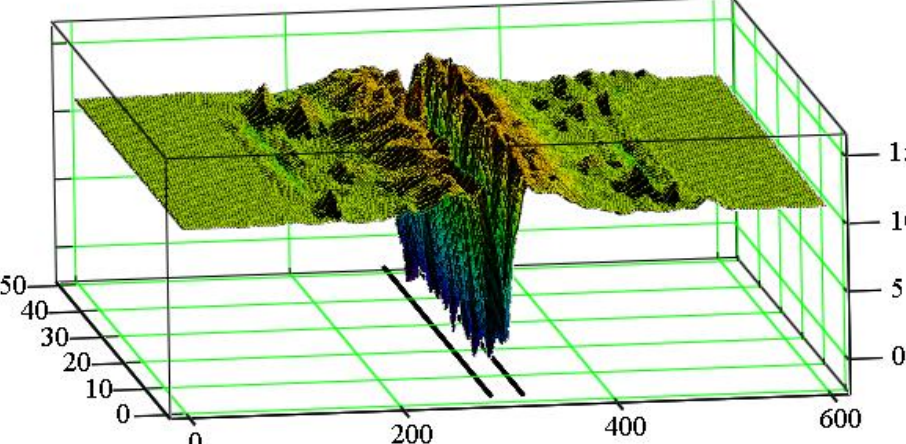
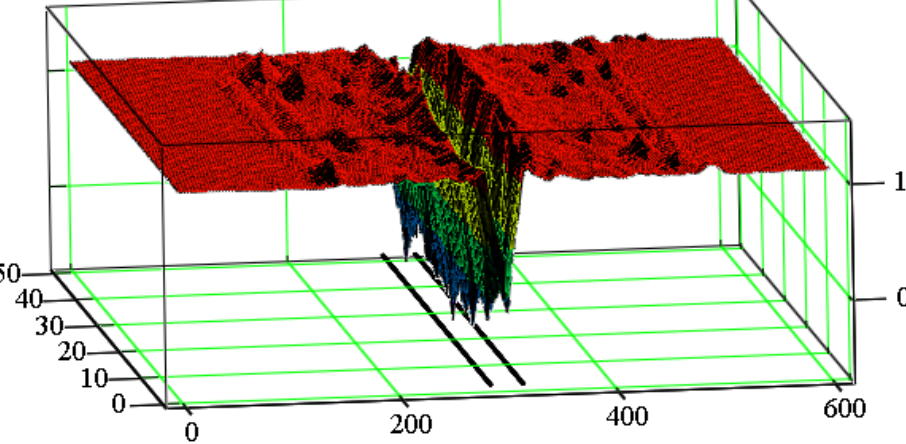
Згідно геологічного прогнозу висота основної покрівлі (пісковик) складає – 17,6 м, а висота безпосередньої покрівлі (алевроліт) – 4 м.

У таблиці 3.2. відображений напружений стан безпосередньої покрівлі до її первинного обвалення, а саме компоненти головних напружень. Відхід

лави від монтажного хідника склав 30 м. Максимальний опорний тиск на безпосередню покрівлю складає 34 МПа.

Таблиця 3.2 –

Напружений стан безпосередньої покрівлі до її первинного обвалення (відхід лави від монтажного хідника на 30 м)

Компонент напруження	Графічне уявлення розподілу напруження в безпосередній покрівлі масиву, що підроблюється
σ_1 , МПа	
σ_2 , МПа	
σ_3 , МПа	

На рисунку 3.3. відображені зони руйнування безпосередньої покрівлі на момент її первинного обвалення при відході лави від монтажного хідника на 30 м. Зображення отримано за допомогою критерію Кулона-Мора:

$$\sigma_1 - \frac{\sigma_p}{\sigma_c} \cdot \sigma_3 \leq \sigma_p, \text{ або } \sigma_1 \cdot \frac{\sigma_c}{\sigma_p} - \sigma_3 \leq \sigma_c, \quad (3.6)$$

де σ_p , σ_c – відповідно граничнодопустимі нормальні напруження на відрив та стиснення;

σ_1 , σ_3 – відповідно максимальне та мінімальне головні напруження.

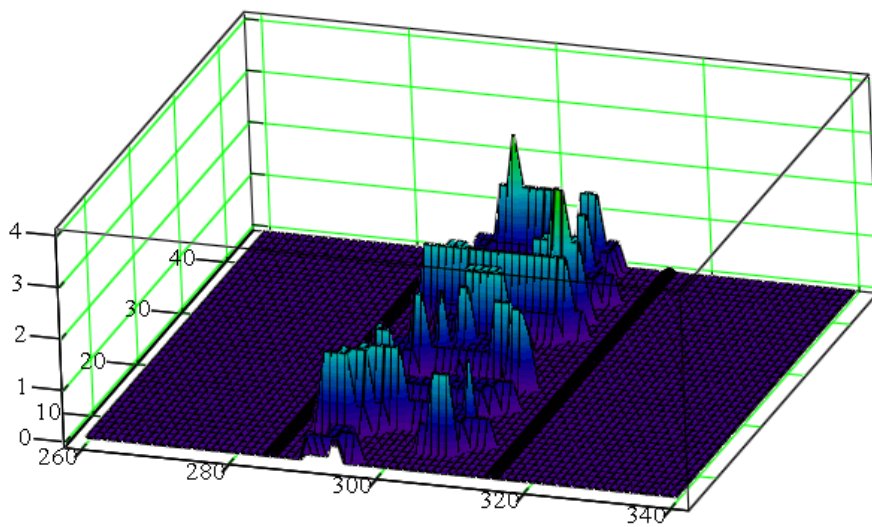


Рисунок 3.3 – Зони руйнування безпосередньої покрівлі над виробленим простором на момент її первинного обвалення 30 м (критерій Кулона-Мора).

Таким чином визначаємо, що відбулось первинне обвалення безпосередньої покрівлі на 30 м відходу лави від монтажного хідника.

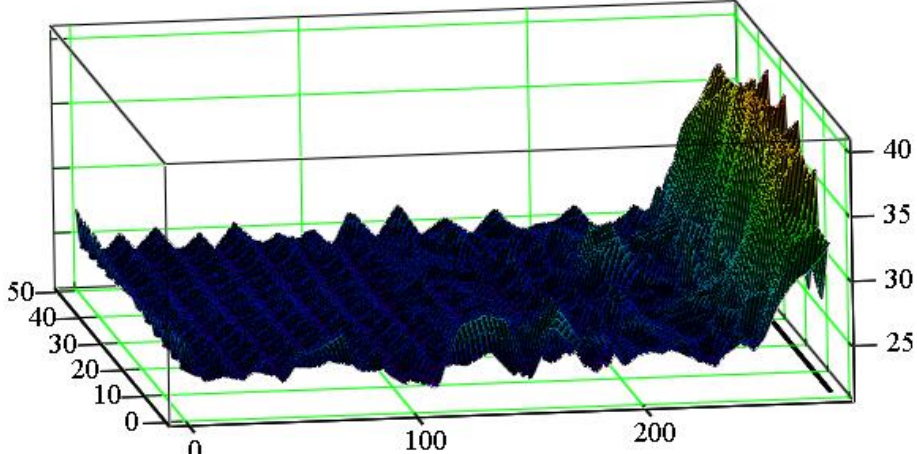
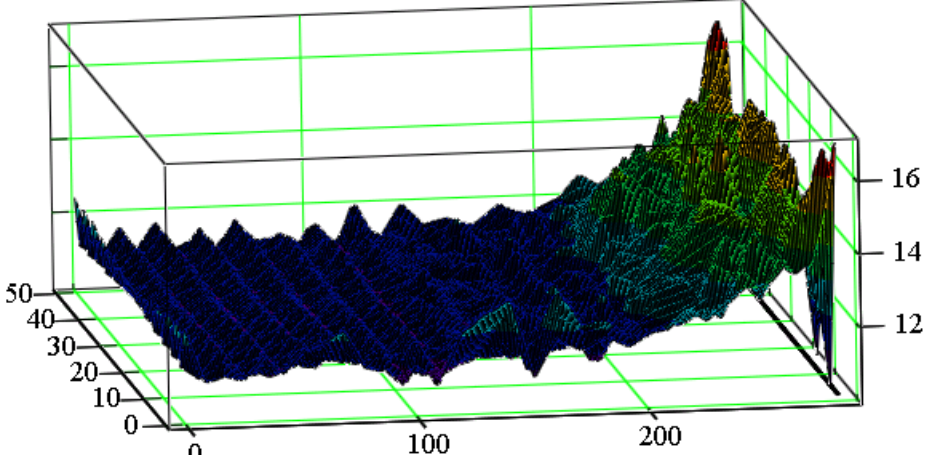
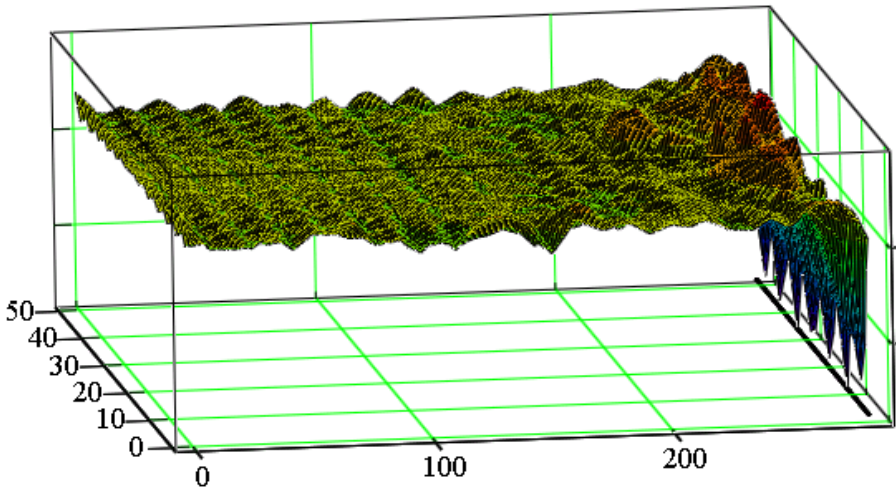
Критерій тріщиностійкості не відобразив зони вивалоутворення при даному відході лави.

Далі змінюємо модель гірського масиву тим, що над виробленим простором ($30 \times 250 \text{ м}^2$) вбираємо шар безпосередньої покрівлі, тому що далі будуть відбуватися періодичні її обвалення.

Збільшуємо відхід лави до 35 м, тобто моделюємо консоль безпосередньої покрівлі яка дорівнює 5 м і отримуємо наступний напружено-деформований стан безпосередньої покрівлі оновленої моделі (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 –

Напружений стан безпосередньої покрівлі після її первинного обвалення (відхід лави від монтажного хідника на 35 м)

Компонент напруження	Графічне уявлення розподілу напруження в безпосередній покрівлі масиву, що підроблюється
σ_1 , МПа	
σ_2 , МПа	
σ_3 , МПа	

Максимальний опорний тиск на безпосередню покрівлю склав 41 МПа. Критерій Кулона-Мора у безпосередньої покрівлі «спрацював» майже по всієї лінії очисного вибою (рис. 3.4). Таким чином визначаємо, що відбулось періодичне обвалення безпосередньої покрівлі на 35 м відходу лави від монтажного хідника. Довжина консолі безпосередньої покрівлі складає 5 м.

Критерій тріщиностійкості не відобразив зони вивалоутворення при даному відході лави.

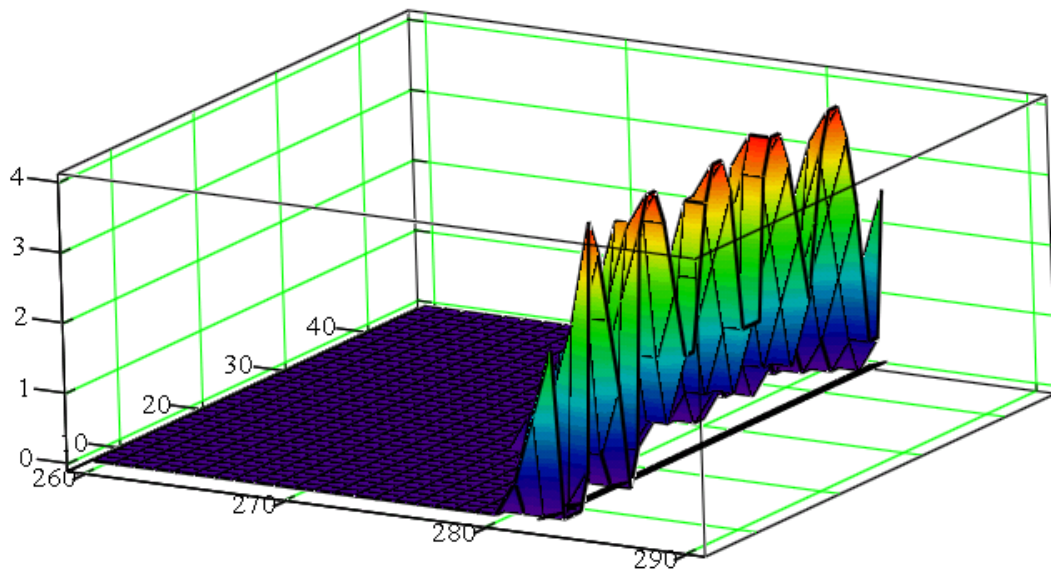


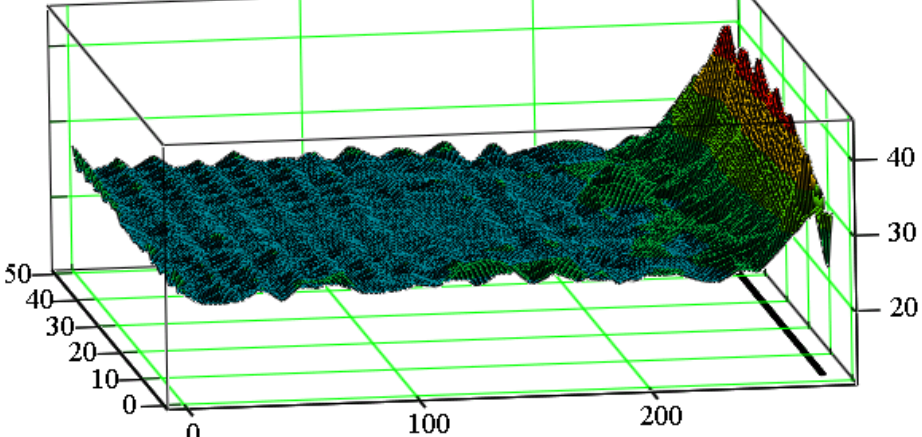
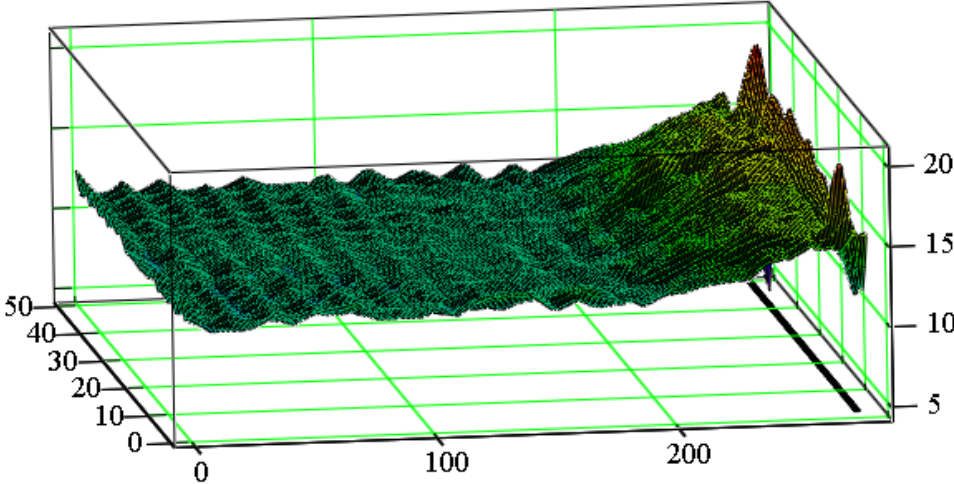
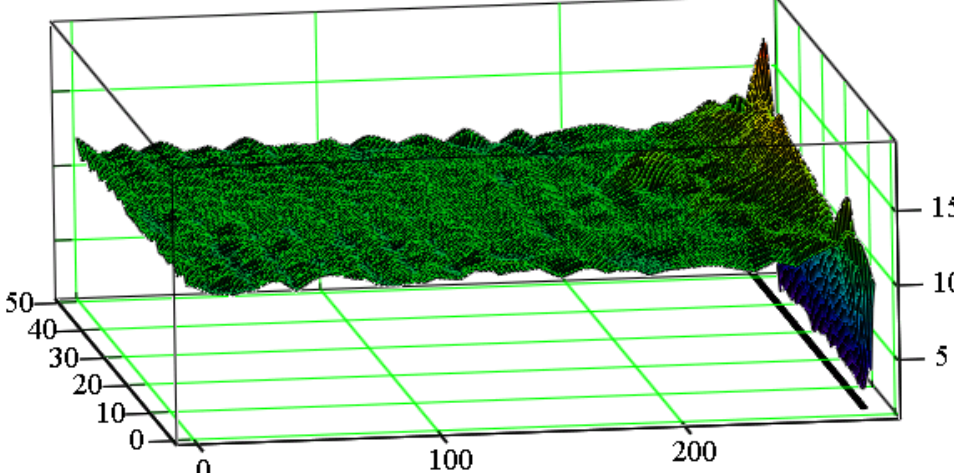
Рисунок 3.4 – Зони руйнування безпосередньої покрівлі над очисним вибоєм на момент періодичного обвалення.

Збільшуємо відхід лави до 50 м, і отримуємо наступний напружено-деформований стан безпосередньої покрівлі оновленої моделі на момент періодичного обвалення безпосередньої покрівлі (довжина консолі – 5 м) (табл. 3.4).

Опорний тиск на безпосередню покрівлю складає вже 44 МПа, це більше попереднього значення, так як збільшується оголення основної покрівлі.

Таблиця 3.4 –

Напружений стан безпосередньої покрівлі до її чергового періодичного обвалення (відхід лави від монтажного хідника на 50 м)

Компонент напруження	Графічне уявлення розподілу напруження в безпосередній покрівлі масиву, що підроблюється
σ_1 , МПа	
σ_2 , МПа	
σ_3 , МПа	

Критерій Кулона-Мора у безпосередньої покрівлі «спрацював» майже по всій лінії очисного вибою (рис. 3.5). Таким чином визначаємо, що відбулось періодичне обвалення безпосередньої покрівлі на 50 м відходу лави від монтажного хідника. Довжина консолі безпосередньої покрівлі складає 5 м.

Критерій тріщиностійкості не відобразив зони вивалоутворення при даному відходу лави.

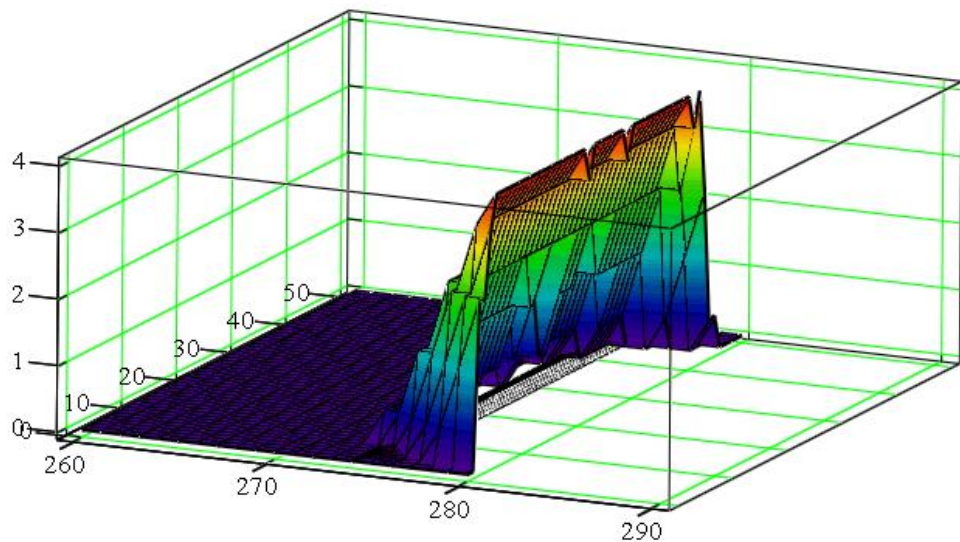


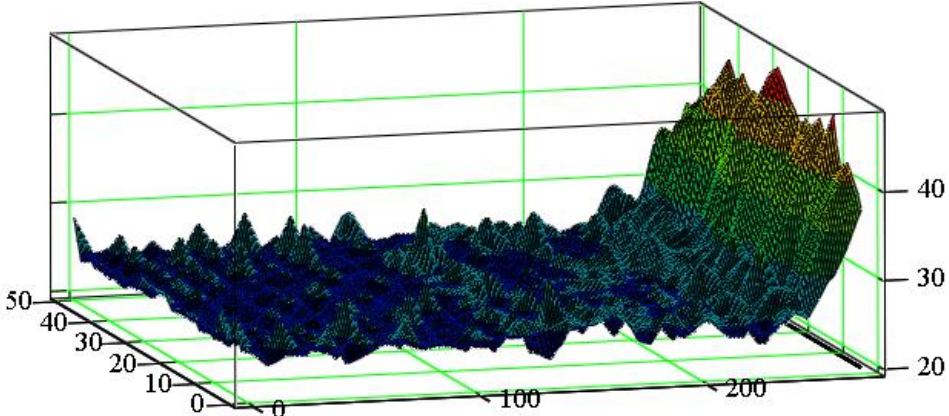
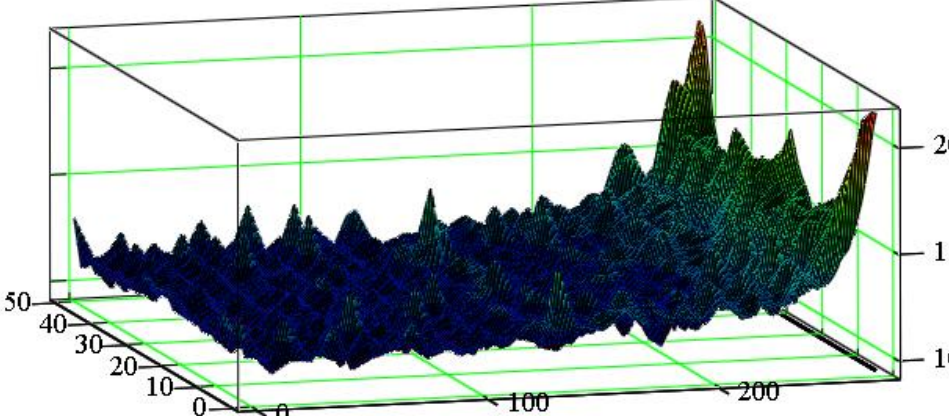
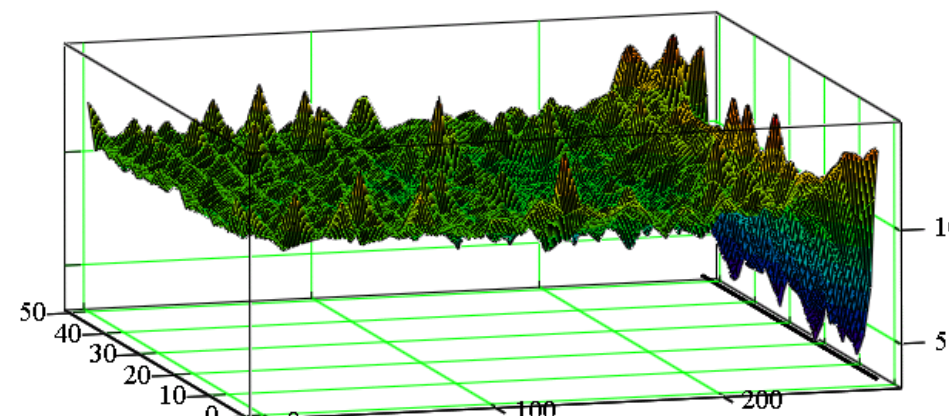
Рисунок 3.5 – Зони руйнування консолі безпосередньої покрівлі над очисним вибоєм (відхід лави від монтажного хідника на 50 м).

Збільшуємо відхід лави до 60 м, і отримуємо наступний напружено-деформований стан безпосередньої покрівлі оновленої моделі на момент первинного обвалення основної покрівлі і періодичного обвалення безпосередньої покрівлі (табл. 3.5).

Опорний тиск на безпосередню покрівлю складає вже 48 МПа, це більше попереднього значення, так як збільшується оголення основної покрівлі.

Таблиця 3.5 –

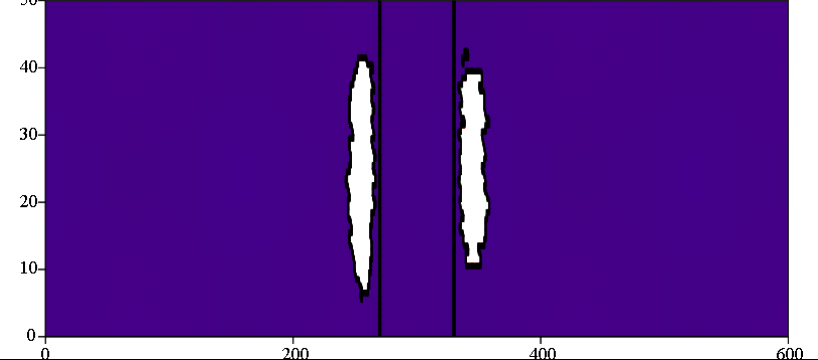
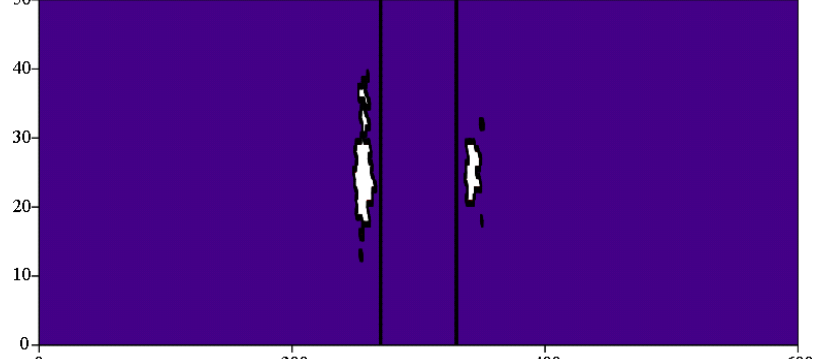
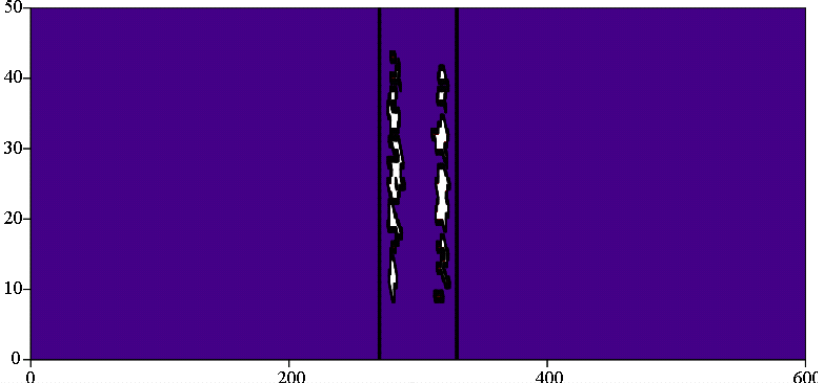
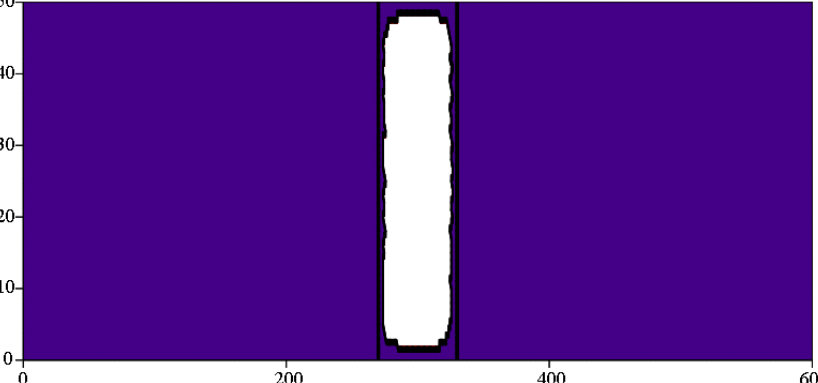
Напружений стан безпосередньої покрівлі після її чергового періодичного обвалення (відхід лави від монтажного хідника на 60 м)

Компонент напруження	Графічне уявлення розподілу напруження в безпосередній покрівлі масиву, що підроблюється
σ_1 , МПа	
σ_2 , МПа	
σ_3 , МПа	

«Робота» критерію Кулона-Мора по «січним перетинам» основної покрівлі (табл. 3.6) вказує на руйнування і обвалення основної покрівлі.

Таблиця 3.6 –

Графічна інтерпретація «роботи» критерію Кулона-Мора в основній покрівлі (відхід лави – 60 м, довжина лави $50 \times 5 = 250$ м)

Січна «скануюча поверхність» на висоті основної покрівлі, м	Графічна інтерпретація «роботи» критерію Кулона-Мора в основній покрівлі (відхід лави – 60 м, довжина лави 250 м)
17,6	
16	
6	
0	

Таким чином відбувається первинне обвалення основної покрівлі (шар пісковика висотою 17,6 м) на 60 м відходу лави від монтажного хідника. При цьому основними руйнівними напруженнями є максимальні розтягувальні горизонтальні напруження у верхній і нижній частині породного шару.

У подальших розрахунках цей породний шар над виробленим простором виключаємо з моделі, так як після обвалення він вже не буде впливати на напружений стан порід покрівлі навколо очисного вибою. Обвалення моделюємо, згідно зі встановленим кутом обвалення гірських порід рівним 75° . Після обвалення основної покрівлі, необхідно заново визначити напруження в моделі і встановити області, що перевищують граничнодопустимі напруження.

На момент первинного обвалення основної покрівлі при 60 м відходу лави від монтажного хідника критерій Кулона-Мора у безпосередньої покрівлі «спрацював» по переду очисного вибою у глибину масиву до 5 м, у деяких місцях на усю висоту безпосередньої покрівлі 4 м (рис. 3.6). Критерій тріщиностійкості не відобразив зони вивалоутворення при даному відходу лави.

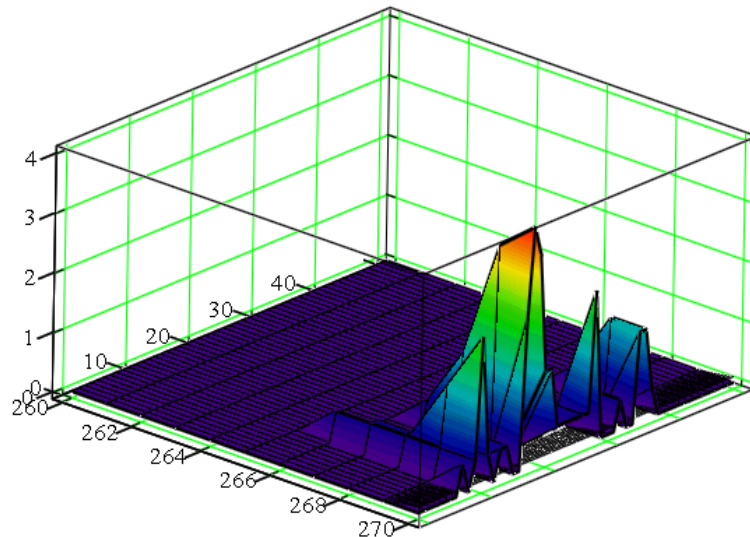


Рисунок 3.6 – Зони руйнування безпосередньої покрівлі попереду і над очисним вибоєм на момент первинного обвалення основної покрівлі (відхід лави від монтажного хідника на 60 м).

Періодичне обвалення основної покрівлі складе 10 м. Руйнування основної покрівлі у верхній частини шару зображено на рисунку 3.7.

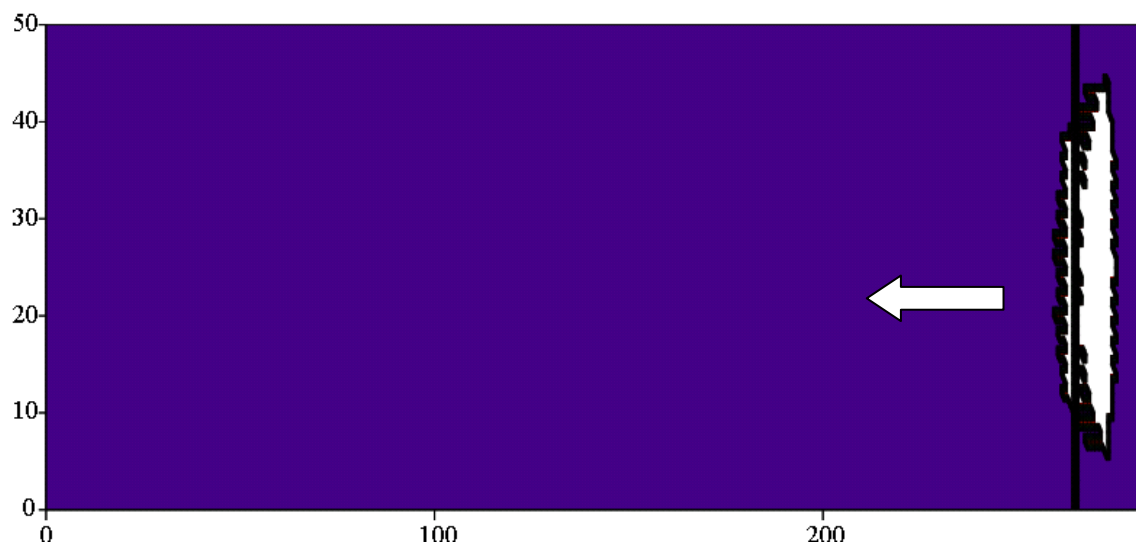


Рисунок 3.6 – Зони руйнування у верхній частини шару на момент періодичного обвалення основної покрівлі (відхід лави від монтажного хідника на 70 м).

Критерій тріщиностійкості почав відображати зони вивалоутворення попереду очисного вибою при наступних відходах лави від монтажного хідника (табл. 3.7):

- при відході на 70 м – висота вивалів від 0,5 до 1,5 м, місце положення значних вивалів – 120 м, об’єм вивалів склав 82,5 м³;
- при відході на 90 м – висота вивалів від 0,5 до 1,5 м, місце положення значних вивалів – 125 м, 185 м, об’єм вивалів склав 242,5 м³;
- при відході на 100 м – висота вивалів від 0,5 до 1,5 м, місце положення значних вивалів – 140 м, 175 м, об’єм вивалів склав 215,0 м³.

При 80 м відході лави від монтажного хідника зони вивалоутворення попереду очисного вибою – відсутні.

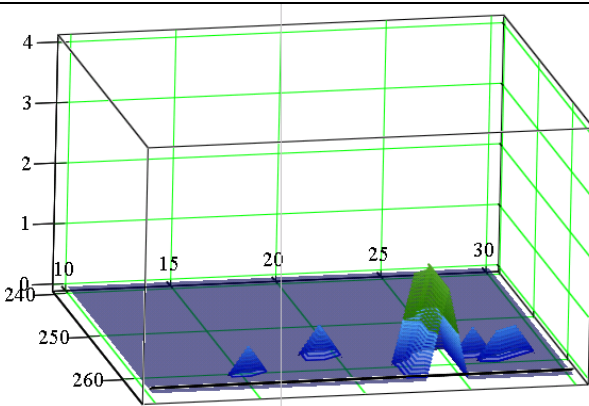
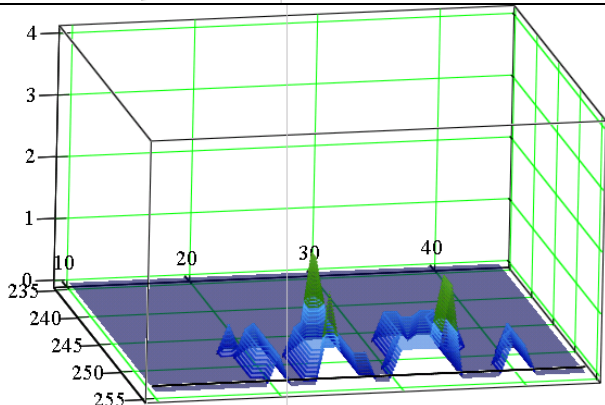
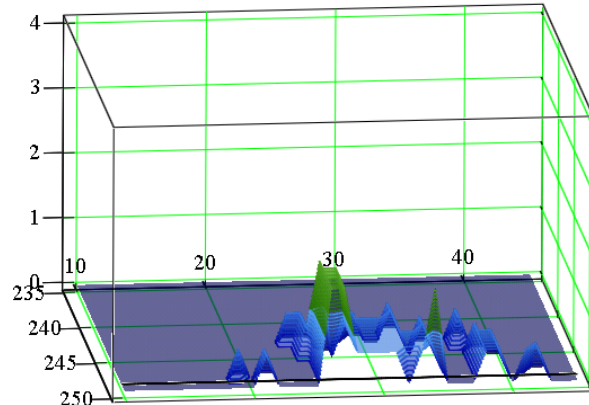
Орієнтовний об’єм вивалу V_v розраховується по сумарній кількості «точок руйнування» N_p шару безпосередньої покрівлі помножив на об’єм між 4-ма сусідніми точками $V_{m.p.}$:

$$V_v = N_p \cdot V_{m.p.} \quad (3.7)$$

Таким чином використовуючи критерій тріщиностійкості (2.10), можливо виконати прогнозування вивалів безпосередньої покрівлі, визначити їх місцеположення та їх параметри (3.7). Також є можливість визначити геометричні параметри кожного вивалу (ширину та глибину).

Таблиця 3.7 –

Зони вивалоутворення попереду очисного вибою за допомогою критерію тріщиностійкості.

№	Відхід лави від монтажного хідника, м	Зони вивалоутворення попереду очисного вибою в безпосередній покрівлі	Орієнтовний об'єм вивалу, м ³
1	70		82,5
2	90		242,5
3	100		215,0

4. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ОЧИСНИХ ВИРОБОК

1.2. Аналіз заходів щодо запобігання обвалень покрівлі у очисному вибої

Аналіз виробничої діяльності шахт України, які ведуть розробку на великих глибинах в умовах слабких вміщуючих порід показує, що значна частина комплексно-механізованих вибоїв вимагає запобігання вивалоутворень нестійких порід покрівлі в цих вибоях.

Сьогодні ця проблема як ніколи актуальна, тому що на шахтах України продуктивність комплексно-механізованих вибоїв знижується в 2-3 рази [19, 20].

Таким чином на шахтах все більшого поширення набувають різні способи зміцнення слабких порід покрівлі, в тому числі і скріплюючі суміші забезпечують втраті плинності і їх затвердіння в масиві за час, обумовлене технологією виїмки вугілля.

Скріплюючі суміші можна розділити на три групи:

- водні суспензії тонких частинок, розміри яких обмежують можливість застосування їх для вузьких тріщин. До цієї групи належать водні розчини цементу і глини, що володіють швидкою седиментацією після припинення руху. Тому їх складно застосовувати при вузьких тріщинах. Більш стабільні розчини глини з сумішшю цементу і бентоніту або цементу з прискорюючими добавками, але вони мають низьку проникність по тріщинах;
- гелі, в'язкість яких поступово збільшується до повного затвердіння, наприклад, силікатні клеї, широко вживані для зміцнення ґрунтів і тампонажу обводнених пісків, проте вони повільно тверднуть і можуть бути використані тільки для профілактичного зміцнення порід;
- розчини на основі синтетичних смол, через деякий час твердіють під впливом добавки або каталізатора. У порівнянні з силікатними і

цементними дані розчини характеризуються кращою адгезією до породи і проникаючою здатністю в тонко тріщинуваті середовища, добре регульовані термінами гелеутворення і затвердіння, більшою механічною міцністю.

При розгляді властивостей закріплюючих розчинів на основі синтетичних смол можна зробити висновок, що їх основні складові мають переваги і недоліки. Епоксидні і поліефірні смоли володіють хорошими скріпними властивостями, але дорогі, з високою в'язкістю, чутливі до вологи. Мочевино-формальдегідні смоли обумовлюють дещо гірші фізико-механічні показники сумішей, але менш токсичні, дешевше, мають більш низьку в'язкість і забезпечену сировинну базу. Отже, такі смоли прийнятні для зміцнення порід методом нагнітання. Для цього використовуються нагнітальні установки з пневматичним приводом. Розглянемо технологію зміцнення порід покрівлі, розроблену у ФРГ, яка застосовується на деяких шахтах Донбасу.

Нагнітальне обладнання представлено насосною установкою, високо-напірними шлангами і герметизатором зі змішувачем. Максимальна продуктивність установки 10 л/хв, максимальний тиск 14 МПа, габаритні розміри 720×320×620 мм, маса 90 кг.

Насосна установка - компактна конструкція без редуктора, в ній співвісно з'єднані два шестеренних насоса і пневмодвигун, який дозволяє плавно регулювати подачу скріплюючого складу. Над насосами розташовуються дві витратні ємності з рідинами «Беведоль» і «Беведан». Від кожного насоса рідини надходять по шлангах до трійника, приєднаного до кінця трубки, яка виступає з шпуру. У трубці знаходиться пластмасовий змішувач статичного дії. Трубка з'єднана з герметизатором. Шпури глибиною 4 м бурять в породах під кутом 10-15° до нашарування на відстані один від іншого 3-5 м, ущільнення проводять на глибині 1,2-1,5 м. Герметизатор (разового користування) залишають в кожному шпурі. Застосовують нормальні (час гелеутворення 20-30 хв) і прискорені (1,5 хв) суміші. При

появі нормального складу через тріщини на оголеній поверхні масиву переключаються на нагнітання прискореного. Витрата поліуретанового складу на один шпур в середньому дорівнює 200 кг, на зміцнення 1 м² покрівлі – близько 15 кг. Тиск нагнітання не перевищує 5 МПа, середня продуктивність насосної установки 8,5 л/хв [21].

Технологія хороша, але використовувані смоли дорогі, токсичні. Тому вона навряд чи отримає широке застосування на шахтах Донбасу.

Зміцнення нестійких порід покрівлі в лавах анкерами, що закріплюються швидкотвердіючим поліуретановим складом, що спінюється по всій довжині шпуру, знаходить все більше поширення на шахтах Донбасу. Мета зміцнення – запобігти обвалення покрівлі до установки основного привибійного кріплення. У лавах з механізованими кріпленнями зміцнена покрівля повинна витримувати 4–6 циклів навантаження і розвантаження секцій при їх пересуванні.

Суть методу зміцнення покрівлі в очисних вибоях хімічним анкеруванням полягає в наступному. З боку площини обвалення порід з можливо великим випередженням очисного вибою встановлюють анкери на таку глибину, щоб після виїмки і зведення кріплення під зміцнену покрівлю передній кінець анкера знаходився над масивом вугілля. Поліуретановий скріплюючий склад подається в шпури в ампулах (рис. 4.1), що представляють собою запаяну поліетиленову оболонку зі скляною колбою.

У ній знаходиться один з компонентів – кодіцин, а в поліетиленовій оболонці – поліефірна суміш. Загальна маса складу в ампулі 170 м. На закріплення одного анкера витрачається 4-12 ампул в залежності від довжини шпуру, поперечного розміру стержня і ступеня тріщинуватості порід; на 1 м шпуру в середньому витрачається 3 ампули [22].

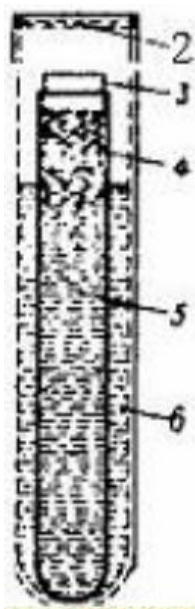


Рисунок 4.1 – Ампула зі скріплюючим складом: 1 - шов (спайка); 2 - поліетиленова оболонка; 3 - пінопластова пробка; 4 - скляна пробірка; 5 - кодіцин; 6 - поліефірна суміш.

Для утворення якісного поліуретану вихідні компоненти, що знаходяться в ампулі, необхідно перемішати. Після укладання ампул в шпур вводиться анкер, який обертається за допомогою ручного електросвердла. При поступальному руху і обертанні анкера протягом 30 с пробірка і оболонка ампули руйнуються, і вміст їх добре перемішується. Отримана суміш спінюється за 30–40 с, збільшуючись в обсязі в 3,5–4 рази. Затвердіння відбувається через 1–3 хв, а через 10 хв анкер можна навантажувати. Завдяки застосуванню полістиролу (розширюваного) скріплюючого складу ефект зміцнення порід посилюється.

При спінюванні склад щільно заповнює простір між стінками шпуру і анкером і проникає на 10–15 см в великі тріщини навколо шпуру, скріплюючи навколишні породи. Питома міцність закріплення анкеру поліуретановим складом знаходиться в межах 137–178 кН на 1 м шпуру.

Поліуретановий склад утворюється в результаті хімічної реакції між кодіцином і поліефіром, інші добавки відіграють допоміжну, але дуже важливу роль (тріхло-ретілфосфат - пластифікатор, триетиламін - каталізатор

реакції, емульгатор КЕП-1 сприяє утворенню рівномірних по величині осередків пеноструктури; вода є спінювач, при її взаємодії з кодціном виділяється вуглекислий газ; варіюючи кількість води, можна змінювати кратність спінювання складу).

1.2. Досвід застосування хімічного анкерування у лавах з різною механізацією очисних робіт

У якості анкерів використовуються сталеві арматурні стержні діаметром 28 або 32 мм і клинові сталеві анкери, що серійно виготовляються діаметром 20 мм. Площина обвалення порід, як правило, закріплюється прогонами (дерев'яні бруси, розпили, стійки і сталеві швелери), які надягають на кінці стрижнів, які виступають з породного масиву. До породи прогони притискаються гайками, нагвинчують на кінці стержнів. Якщо покрівля представлена дрібно шматковитою породою (розміром до 10 см), під прогони укладається дерев'яна затяжка, завдяки чому значно зменшується відшаровування і висипання порід убік виробленого простору (рис. 4.2).

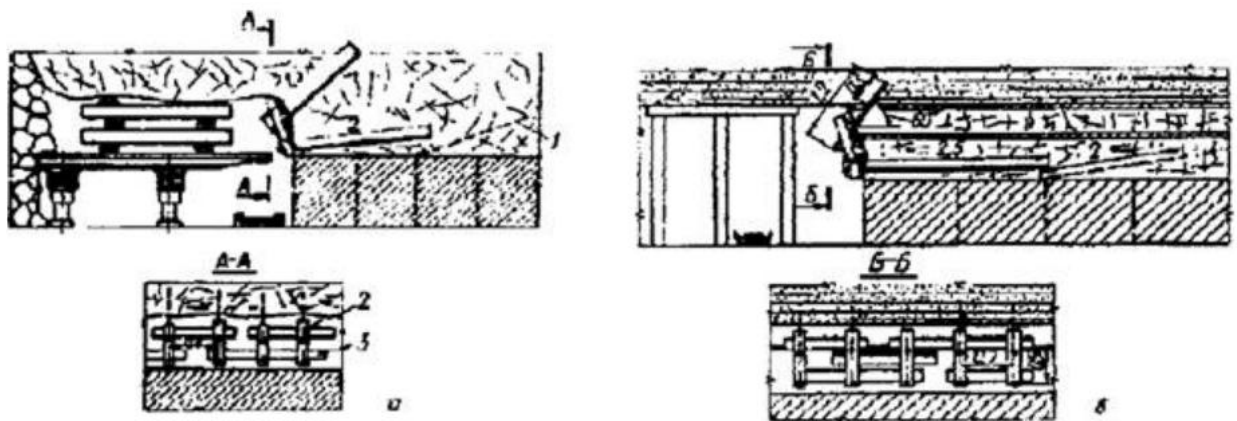


Рисунок 4.2 – Схема анкерування на шахтах ім. Кисельова (а) і «Жданівська» (б), 1 – профілактичний анкер; 2 - дерев'яна шпала; 3 - розпил.

Розглянемо досвід застосування хімічного анкерування у лавах з різною механізацією очисних робіт. На шахті ім. Кисельова об'єднання

Торезантрацит в 1-й східній лаві пласта обладнаної комплексом КМК-97, зона нестійкої покрівлі перебувала в нижній частині лави. Її довжина становила 20 м. Вивали порід відбувалися ділянками по 3-6 м, між якими залишалися проміжки зі стійкою покрівлею. Порода обвалювалась відразу за проходом комбайна на висоту 0,7-1 м. При плані 460 т за добу фактичний видобуток вугілля складав в середньому 350 т.

Після зміцнення порід методом хімічного анкерування (рис. 1, а) виникали вивали покрівлі в подальшому швидко ліквідовувалися. Середньодобовий видобуток зріс до 600 т, а в окремі дні досягав 800 т.

На шахті «Жданівська» (Шахтарськантрацит) хімічне анкерування проводилося в 6-й західній лаві пласта τ_9 , обладнаної комбайном «Донбас» з шириною захвату 1,6 м і індивідуальним кріпленням. На п'яти раніше відпрацьованих поверхах через ускладнення з підтриманням нестійкою покрівлі не вдавалося зробити виїмку вугілля до меж шахтного поля. У таку зону потрапила і 6-я західна лава. Породи покрівлі періодично обвалювались на висоту 1,5-2 м ділянками по всій довжині лави. У деяких випадках зона обвалення перевищувала половину довжини лави. Зміцнення хімічним анкерування (рис.1, б) здійснювалося ділянками довжиною 7–8 м без припинення робіт з виїмки вугілля.

В результаті застосування зазначеного методу 6-й поверх був відпрацьований до меж шахтного поля. При виїмці вугілля із закладкою виробленого простору стан і стійкість покрівлі в лаві набагато краще, ніж при повному обваленні. Це обумовлено меншими проявами зсувів покрівлі по нормалі до нашарування і зміною механізму взаємодії вміщуючих порід з закладним масивом. В натурних умовах вивчити особливості цього механізму практично не можливо через неможливість розташування відповідної вимірювальної апаратури в товщі гірських порід.

Дослідженнями ДонУГІ на моделях з еквівалентних матеріалів з використанням ультразвукових вимірювань встановлено, що тріщини з'являються в породах покрівлі привибійного простору [23]. У міру переходу

цих порід в зону підтримки закладних масивом тріщини закриваються, щільність порід покрівлі досягає щільності непорушеного масиву. Проте процес утворення тріщин в покрівлі пласта при різних способах управління покрівлею залишається поки недостатньо вивченим.

1.3. Дослідження стійкості порід покрівлі у привибійному просторі

Дослідження на моделях з оптично чутливих матеріалів дають можливість встановити картину розподілу напружень у пружному середовищі, яка формується в породах, лише в перший період після виїмки вугілля. У якості оптично чутливого матеріалу використаний ігдантін. При моделюванні повної закладки виробленого простору усадка закладного матеріалу склала 25% потужності пласта. Потужність порід безпосередньої покрівлі брали рівною шестиразовій потужності пласта.

Порівняння вихідних картин розподілу дотичних напружень у пружному середовищі показує, що при повній закладці в породах покрівлі концентрація напружень набагато менше, ніж при повному обваленні. Найвищий рівень напружень в обох випадках розташований у кромки очисного вибою. Проте при повному обваленні напруження неподалік об'єкта кромки приблизно в 1,5-1,8 рази більше, ніж при закладці.

Крім того, крайова частина масиву вугілля на більшій площі привантажена додатковим (опорним) тиском внаслідок більшого прогину товщі, що осідає на хаотично завалені шари порід безпосередньої покрівлі. Все це дає підставу стверджувати, що за інших рівних умов ймовірність появи тріщин гірського тиску в породах попереду лави буде завжди більшою при управлінні покрівлею повним обваленням, ніж при закладці. Цьому сприяє також наявність більшої довжини зони опорного тиску попереду лави (зростає час сприйняття породами покрівлі опорних навантажень, які до того ж в реальних умовах мають знакозмінний характер).

Стійкість порід покрівлі у привибійному просторі істотно залежить від ступеня їх попередньої трещиноватости, що сформувалася попереду очисного вибою під впливом опорного тиску, а також від величини осідань над виробленим простором прилеглих порід підробленої товщі. Позаду лави породи покрівлі розшаровуються, ростуть величини їх осідання і тріщинуватість породних шарів в результаті дії значних згинальних (розтягувальних) напружень.

Отже, в порівнянних умовах при закладці виробленого простору складається більш сприятлива геомеханічна обстановка в околиці очисного вибою. Очевидно, при відпрацюванні лав на глибоких горизонтах роль фактора управління покрівлею буде зростати в комплексі заходів щодо запобігання негативних проявів гірського тиску. Особливо позитивний вплив повної закладки буде позначатися при виїмці пластів потужністю понад 0,9–1 м, в безпосередній покрівлі яких залягають відносно слабкі аргіліти або алевроліти (потужність шарів до 2–3 м), а основна покрівля представлена міцними пісковиками значної потужності.

Підроблювані породи безпосередньої і основної покрівлі, які осідають на хаотично завалений шар або на закладку, являють собою блоковий масив типу безрозчинної цегляної кладки. Причому в міру віддалення від пласта розміри блоків в площині нашарування збільшуються. Щоб простежити в першому наближенні механізм розкриття і закриття торцевих міжблочних тріщин над привибійним і виробленим просторами, в моделях відтворені розрізи порід покрівлі по нормалі до нашарування.

Взаємодія блоків і розподіл в них напружень в цілому відповідають поведінці суцільного пружного середовища, є можливість представити загальну механічну картину осідання підробленої товщі.

При наявності в породах покрівлі деякої блокової структури при закладці виробленого простору концентрація максимальних дотичних напружень поблизу кромки масиву вугілля набагато менше, ніж при повному обваленні покрівлі. Характерно, що при обваленні покрівлі в міру віддалення

від очисного вибою збільшується розкриття міжблокових тріщин. В реальних умовах це супроводжується руйнуванням порід на торцевих поверхнях блоків. Чим інтенсивніше процеси розшарування і руйнування порід, тим гірше їх стан у лаві.

Викладені геомеханічні особливості поведінки порід покрівлі при обваленні практично повністю усуваються або зводяться до мінімуму, якщо у лаві застосовується повна закладка виробленого простору, коли усадка закладного масиву не перевищує 20–25% виймальної потужності пласта, а відставання закладки від забою не більше 3–3,5 м.

Породи покрівлі при цьому не втрачають своєї суцільності. Якщо в довколишніх шарах безпосередньої покрівлі і утворюються тріщини гірського тиску, то інтенсивність і глибина їх набагато менше, а процес розкриття та закриття тріщин не носить явно вираженого характеру.

Щоб при повному обваленні забезпечити хорошу стійкість покрівлі у призабойному просторі, потрібно різко зменшити прогин і опускання покрівлі не тільки поблизу вибою, а й в межах зони активних зрушень порід над виробленим простором. Довжина цієї зони стосовно до типових середніх гірничо-геологічних умовам Донбасу приблизно дорівнює подвоєному місячному посуванню лави.

Контактуючи між собою призматичні блоки створюють стійку систему, яка являє собою пакет шарів (типу розрізних балок), що мають в площині нашарування різну довжину блоків. Область трещиноватости порід, розташованих над очисною виробкою, за своєю формою наближається до склепіння, в вершині якого залягає плита з великим кроком обвалення.

Чим менший відсоток усадки закладного масиву, тим менше ширина і висота переміщається склепіння утвореної області тріщинуватих порід. За рахунок збільшення сил тертя і зачеплення торців блоків підвищується стійкість покрівлі у привибійному просторі лави. Однак у випадку великого відставання закладного масиву від вибою (більше 6 м) переваги цього методу у частині компенсації негативних впливів гірського тиску істотно

зменшуються.

Застосування закладки виробленого простору знижує концентрацію напружень у породах, що вміщують і підвищує їх стійкість у приви́бійному просторі і в околиці очисного вибою.

Механізм поліпшення стану покрівлі полягає у зменшенні експлуатаційної тріщинуватості порід попереду і позаду лави, у збереженні суцільності, збільшенні сил тертя і зачеплення між осідаючими породними блоками. У порівнянних умовах геомеханічні показники застосування закладки поліпшуються в міру збільшення жорсткості закладного масиву і зменшення ширини підтримуваного приви́бійного простору. Закладка виробленого простору знижує порушенність підробленої товщі і сприяє збереженню навколишнього середовища. На деяких шахтах Донбасу відпрацьовуються лави з використанням щитових кріплень. І для таких вибоїв існують способи, при яких щитове кріплення дозволить домогтися гарних результатів при управлінні нестійкою покрівлею [24].

Відомо, що через порушення стійкості щитове кріплення не в змозі підтримувати покрівлю при утворенні вугільним забоєм укусу. Великі вивали породи з покрівлі у цих зонах можуть істотно знизити швидкість посування очисного вибою. У цьому плані цікавим є досвід ФРГ. Лава з щитовим кріпленням відпрацьовувала пласт Дікебанк виймаємою потужністю 220 см. Безпосередня покрівля пласта у нижній частині представлена сланцюватою глиною. Вище неї залягає шар породи з вугільними прошарками змінної потужності, і на відстані від пласта приблизно 130 см проходить шар сланцюватої глини з включеннями глинистого залізняку. При повороті лави поблизу точки повороту утворювалися вивали породи висотою до 10 м, що пояснювалося підробітком ліній очисних вибоїв і установкою лави по напрямку основного кліважу.

Досвід показав, що нагнітання ангідриту дозволяє механічному кріпленню долати ділянки лави з великими вивалами породи з покрівлі. Перемичка висотою близько 1,5 м з природного ангідриту перекриває вивал з

боку лави, забезпечує відновлення розпору шарів покрівлі паралельно нашарування і запобігає подальшому розпушенню порід покрівлі над ще не відпрацьованим вугільним забоєм.

Завдяки високій міцності ангідритна перемичка створює жорстку опору пересовуваного під нею щитового кріплення і захищає від обвалених шматків породи гірників, що працюють під вивалом. Також слід зазначити, що нестійка покрівля у більшості лав зустрічається не на всьому протязі виїмкового поля, а періодично і на обмежених ділянках по довжині лави. Перехід цих ділянок без заходів по зміцненню порід покрівлі завжди пов'язаний з погіршенням техніко-економічних показників.

Незважаючи на відносно високі витрати, за допомогою всіх вище наведених способів зміцнення покрівлі можна отримати економічний ефект. У кожному конкретному випадку, виходячи з гірничо-геологічних умов, вирішується питання про ефективність застосування зміцнення порід покрівлі у очисному вибої шляхом нагнітання в них зміцнюючих сумішей або хімічного анкерування, а при великій висоті вивалам – споруди ангідритових перемичок. Застосування повної закладки виробленого простору поряд із запобіганням вивалам порід покрівлі дозволяє за рахунок залишення породи в шахті поліпшити екологічну обстановку в Донбасі і зменшити площу родючих земель, що відводяться під породні відвали.

1.4. Технологічні схеми підготовки і нагнітання сумішей

Періодична схема підготовки і нагнітання скріплюючих сумішей є найбільш простий, але при її застосуванні не в повній мірі використовуються переваги хімічного способу зміцнення порід і вугілля в зоні дії очисних робіт (рис. 4.3).

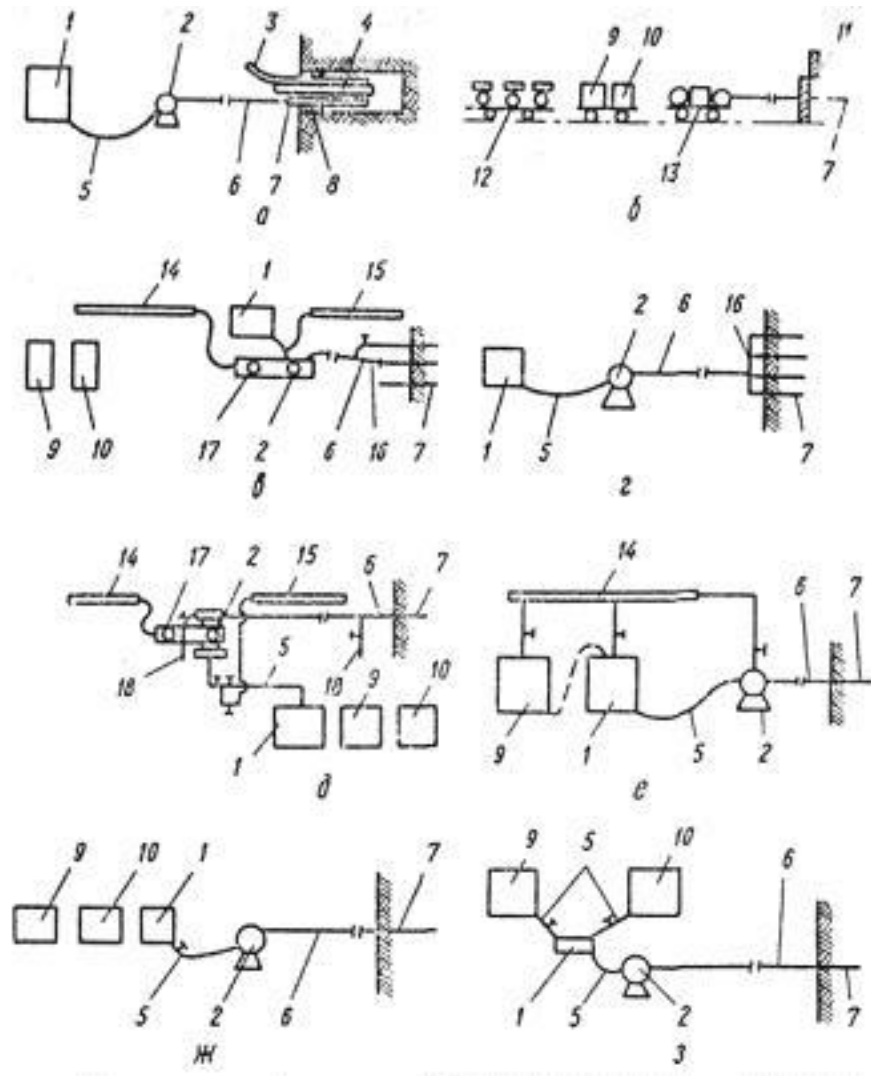


Рисунок 4.3 – Технологічні схеми нагнітання скріплюючих сумішей при одно розчинної схемі їх підготовки:

- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1. змішувальний бак; | 10. ємність з затверджувачем; |
| 2. насос; | 11. перемичка |
| 3. трубка; | 12. електрообладнання; |
| 4. штанга, | 13. нагнітальне обладнання; |
| 5. шланг; | 14. підведення повітря; |
| 6. високонапірний шланг; | 15. підведення води; |
| 7. ін'єктор; | 16. колектор; |
| 8. швидкотвердіюча суміш; | 17. пневмодвигун; |
| 9. ємність зі смолою; | 18. скидання; |

Сутність цієї схеми (рис. 4.3, е и ж) полягає в наступному. В змішувальному баку ретельно перемішують смолу і затверджувач, взяті в певному співвідношенні. Підготовлений склад насосом 2 під тиском по високонапірним шлангах 6 подають у шпур. Час нагнітання приймається на

10-15 хв менше часу гелеутворення складу, оскільки при невиконанні цієї умови відбувається різке збільшення в'язкості і затвердіння складу і система нагнітання виходить з ладу.

Така схема підготовки скріплюючого складу (рис. 4.3, а) [25] застосовувалася у 1971 р. на шахтах Великобританії. Скріплюючий склад нагнітали ручним діафрагмовим насосом з подачею 27 л/хв при тиску 1,4 МПа. Надалі насос наводився у дію електродвигуном.

Технологічні схеми, розроблені ІГД ім. А.А. Скочинського, відрізняються тим, що після насосів дозаторів і змішувача безперервної дії було встановлено високонапірне нагнітальне обладнання 13 (рис. 4.3, б). Електрообладнання 12, ємності зі смолою 9 і затверджувачем 10 і насос встановлювалися на платформах, за рахунок чого досягалася транспортабельність установки. На рисунку 4.3, в, наведена схема, в якій застосовані шестерні насоси з подачею 70 л/хв суміші під тиском до 1,5 МПа.

Схеми нагнітання водорозчинних смол, силікатних клеїв і магнезіальних розчинів показані на рисунку 4.3, г, д, е. Підготовлений скріплюючий склад до насосу подається під дією стисненого повітря шахтної магістралі. Промивання нагнітальної системи після роботи проводиться шахтної водою. Насоси обладнані пневмодвигунами, що дає можливість змінювати продуктивність установки в процесі нагнітання.

На рисунку 4.3, з, приведена схема з двома ємностями, з самопливним живильником і одним насосом. Співвідношення компонентів розчину регулюється запірними пристроями. Компоненти складу надходять у насос через змішувач. Така схема може бути застосована при наявності робочих з великим досвідом застосування синтетичних смол.

Схема (рис. 4.4, а) в нашій країні була застосована для нагнітання скріплюючого складу одночасно у декілька свердловин. За цією схемою смола і затверджувач насосами-дозаторами по високонапірним шлангах надходять у змішувач безперервної дії, з якого після змішування - до ін'єкторів.

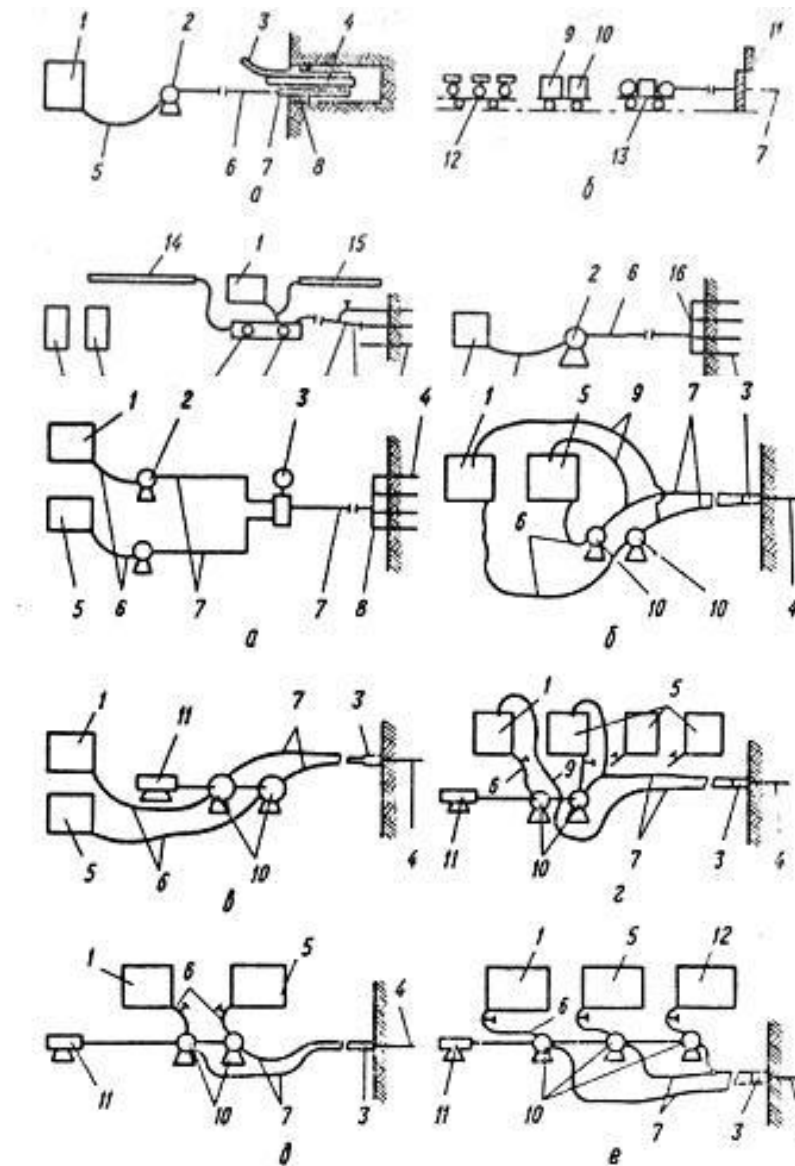


Рисунок 4.4 – Технологічні схеми нагнітання скріплюють складів при двох розчинній схемі їх підготовки:

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1. ємність зі смолою; | 8. колектор; |
| 2. насос дозатор; | 9. шланг для рециркуляції розчину; |
| 3. змішувач; | 10. насос; |
| 4. ін'єктор; | 11. пневмопривід; |
| 5. ємність з затверджувачем; | 12. інгібітор. |
| 6. шланг; | |
| 7. високо напірний шланг; | |

Схема, наведена на рисунку 4.4, б, характерна тим, що з боку високого тиску в обох насосах є пристрої для рециркуляції компонентів, завдяки чому можливо регулювати подачу і тиск нагнітання.

На шахтах Німеччини при зміцненні порід і вугілля [25] застосовуються технологічні схеми (рис. 4.4, в), що відрізняються тим, що обидва насоса з рівною подачею працюють від одного двигуна, а змішування компонентів складу здійснюється в змішувачі безпосередньо перед шпуром.

Більш досконалою є схема, наведена на рисунку 4.4, в. Вона має більшу гнучкість в роботі за рахунок декількох ємностей, що містять каталізатор різної концентрації [26]. Проте така установка може бути застосована при обслуговуванні її робітниками, що мають великий досвід роботи на подібних установках.

У схемах, подібних наведених на рисунку 4.4, д, гнучкість в роботі досягається за рахунок зміни подачі насоса, що нагнітає розчин затверджувача. Аналогічну схему застосувала американська фірма "Америкасайанамідкомпані", але в її схемі використовуються насоси з незалежними приводами. У деяких випадках виникає необхідність застосувати схеми з трьома насосами (рисунок 4.4, е), один з яких призначений для подачі у скріплюючий склад стабілізаторів або інших добавок.

У схемах безперервного нагнітання найчастіше застосовуються безприводні змішувачі, що розміщуються перед герметизатором у устя шпура.

Скріплюючий склад при застосуванні періодичної схеми нагнітання (або один з компонентів при безперервному нагнітанні) має значну в'язкість, тому для забезпечення заданого режиму нагнітання необхідно здійснювати примусову подачу його до насоса. Принципово для підпору високонапірних насосів можна застосувати вихрові насоси, але така схема буде складною. У практиці нагнітання скріплюючих складів частіше зустрічається примусова подача в'язких компонентів і складів стисненим повітрям, що поступає з шахтного повітропроводу.

У світовій практиці явно простежується тенденція до застосування для роботи високонапірних насосів пневмоприводів. Основною перевагою

пневмоприводу є здатність у процесі роботи змінювати швидкість обертання валу насоса, крім того, він має високу надійність при змінному навантаженні і перевантаженнях.

При виборі насосів для нагнітання скріплюючих складів основною вимогою є рівномірність потоку (мінімальна пульсація). При безперервному нагнітанні всі насоси повинні працювати з різною подачею, але при рівному тиску, тому їх треба підбирати так, щоб вони працювали як єдина установка, тобто бажано від одного приводу. Для хімічного зміцнення порід застосовуються поршневі насоси, проте кращими для нагнітання скріплюючих складів визнані насоси непульсірующей конструкції поступальної дії – гвинтові і шестерні [27]. Гвинтові насоси можуть забезпечити нагнітання як в'язких, так і малов'язких розчинів при тиску до 7МПа. Шестерні насоси можуть забезпечити тиск до 45МПа.

1.5. Схеми зміцнення порід при переході очисними вибоями геологічних порушень

У практиці зміцнення порід у шахті багато прикладів успішного нагнітання скріплюючих сумішей. Склави у шпури нагнітають із застосуванням штанг або з подальшою установкою в ці ж шпури анкерів. Бурят шпури безпосередньо в зміцнюючому масиві або через вугільний пласт.

При переході очисними вибоям геологічних порушення у вигляді скидів з невеликою амплітудою шпури бурили так, щоб можна було одночасно зміцнити і породу, і вугілля (рис. 4.5, а). Конкретні геологічні умови визначають не тільки необхідність, а й можливість зміцнення порід або вугілля. На шахтах в Лотарингії при переході геологічного порушення породи покрівлі зміцнювали нагнітанням складу в шпури довжиною 4м (рис. 4.5, б), а при зміцненні верхньої пачки вугільного пласта – через шпури

довжиною 2м (рис. 4.5, в).

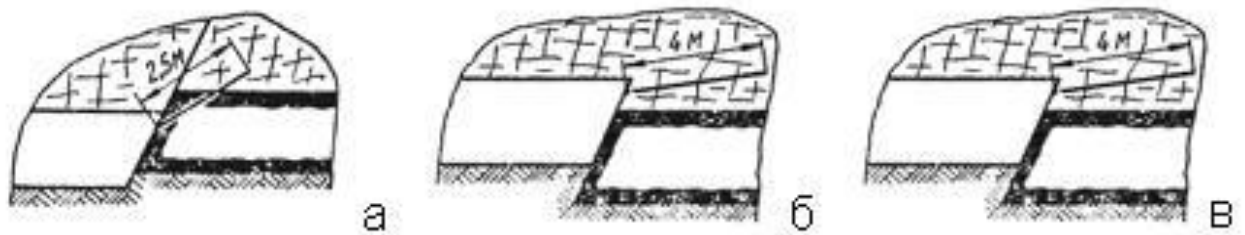


Рисунок 4.5 – Схеми зміцнення зон нестійких порід і вугілля

При зміцненні потужних обвалів шпури розташовують в два і більше рядів. Дворядне розміщення шпурів в Донбасі було застосовано при зміцненні порід покрівлі (ІГД ім. А. А. Скочинського).

Герметизацію устя шпуру при нагнітанні скріплюючих сумішей виробляють як механічними, так і автоматичними (шланговими) герметизаторами устя шпуру. На шахтах Донбасу випробували механічні, шлангові і автоматичні герметизатори типу ГАМ.

Практика показала, що при зміцненні порід в очисних вибоях доцільніше застосовувати шлангові герметизатори, а в місці їх з'єднання з високонапірним шлангом встановлювати пристрій скидання тиску у системі нагнітання для вилучення герметизатора зі шпуру після нагнітання.

Тиск в системі нагнітання контролюють манометрами, які встановлюють на прямоточних камерах з мембраною. Витрата скріплюючого складу або його компонентів контролюють витратомірами або мірними ємностями.

При періодичній схемі підготовки і нагнітання скріплюючого складу змішування компонентів можна здійснювати вбудованими в ємність лопатевими мішалками, обертання яких протягом хвилини виробляють вручну або за допомогою ручного електросвердла. При безперервній схемі змішування компонентів можна здійснювати в герметичних змішувачах, що працюють від зовнішнього джерела енергії, або в безприводних змішувачах. Більш раціонально застосовувати безприводні змішувачі, що змішують

компоненти за рахунок турбулентного потоку компонентів складу у лабіринтах і системах пружин.

1.6. Стан робіт по анкеруванню порід, що закріплюються хімічними речовинами

Роботи з підвищення стійкості порід шляхом їх армування сталевими або дерев'яними стержнями, що закріплюються у масиві за допомогою твердіючих хімічних складів (хімічне анкерування), за останні роки набули поширення як на шахтах вугільної промисловості, так і в рудниках чорної і кольорової металургії. У вугільній промисловості хімічне анкерування систематично застосовується у Донбасі (рис. 4.6).

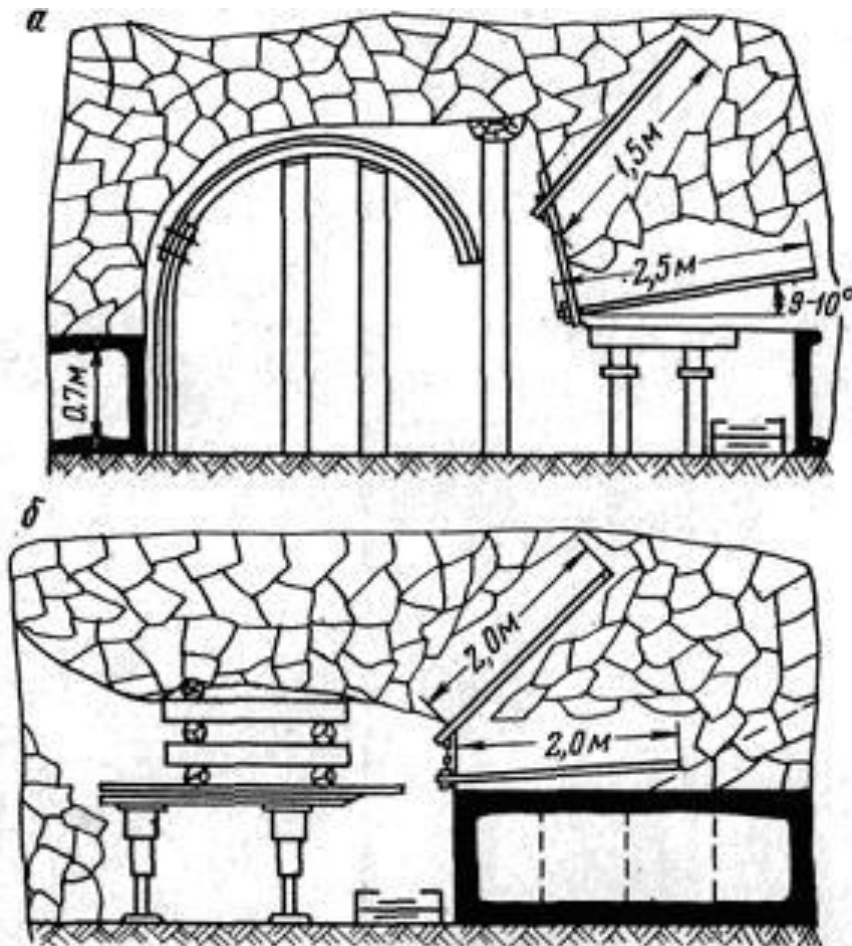


Рисунок 4.6 - Схеми зміцнення покрівлі очисних вибоїв шляхом анкерування з використанням спінюючих поліуретанових сумішей

Система стержнів, по всій довжині закріплених у порушеному тріщинами масиві, виконує роль арматури, підвищуючи жорсткість і несучу здатність гірського масиву і знижуючи його деформації.

Твердіючи хімічні композиції для закріплення стержнів у породах подаються у шпури, найчастіше за все в попередньо виготовлених патронах (ампулах) діаметром 38–40 мм і довжиною 30–35 см, що заповнюються двома рідкими компонентами – смолою і затверджувачем, які при розриві оболонки ампули (скляній поліетиленовій) і перемішуванні обертотом анкером закріплюють його по всій довжині шпуру.

ДонВУГІ розроблена і впроваджена технологія випереджаючого зміцнення (перед вийманням вугілля) нестійких (до 1м) покрівель очисних вибоїв сталевими армуючими стержнями довжиною 1,5-3м з використанням 2-3 ампул на поліуретановій основі.

Оболонка ампули зазвичай виготовляється з матеріалу, що легко руйнується – скла, плівки, паперу, тендітної пластмаси. Компоненти скріплюючої композиції (наприклад, смола і затверджувач) розміщуються у ампулі ізольовано один від одного. Руйнування ампул і перемішування тих, що знаходяться в них хімічних композицій проводиться обертанням армирующего стержня при його подачі у шпур. Отвердіння складу по всій довжині стержня і утворення, таким чином, жорсткої арматури відбувається через 2–3хв після руйнування ампули.

Залежно від призначення, умов зберігання, транспортування та застосування розроблено кілька конструкцій ампул, що розрізняються як за зовнішнім виглядом, так і розмірами. Під анкерне кріплення зазвичай буряться шпури діаметром 42-43 мм, відповідно і ампули виготовляють діаметром 39-40 мм і довжиною 300 мм. Економічно це не виправдовує себе, так як розмір анкерів по діаметру зазвичай обмежується межею 20-22 мм.

У більшості зарубіжних країн під анкери бурять шпури діаметром 28–32 мм, що дозволяє випускати більш економічні ампули – діаметром 24–20

мм). По довжині ампули в залежності від необхідності можуть виготовлятися розміром 25–60 см.

Останнім часом в ІГД ім. Скочинського, ВНПГідроугле і деяких інших організаціях проводяться пошукові роботи по технології закріплення анкерів без ампул, тобто дозованою подачею хімічних композицій у шпур нагнітання і без патронів. Ефект підвищення стійкості покрівлі забезпечується як її армуванням стержнями, так і за рахунок проникнення у великі тріщини навколо шпуру скліюючих хімічних складів.

Стержні анкерних кріплень у більшості випадків виготовляються із сталевих прокатних профілів – круглої або арматурної сталі (періодичний профіль).

З технологічних та економічних міркувань у ряді випадків застосування сталевих анкерів не тільки не ефективно, але й не доцільно. По-перше, анкери які відпрацювали свій термін з гірських масивів, як правило, не витягають і повторно не використовують, тобто метал втрачається безповоротно. По-друге, сталеві анкери можна застосовувати, наприклад, у таких випадках, як підвищення стійкості що підлягають згодом відпрацюванню потужних вугільних пластів або ціликів, для попередження спучування ґрунту, зміцнення вуглеспускних печей та інших випадків, коли закріплюється масив в майбутньому може зазнати впливу ріжучих органів комбайнів.

У цих випадках замість сталевих доцільно застосовувати стержні, що володіють високою міцністю на розтягування, але слабким опором на зріз. До таких матеріалів відносяться одновісні орієнтовані склопластики, пресована і пластифікована деревина, спеціальні композити.

Анкери зі склопластиків розроблені в ІГД ім. Скочинського. Конструктивно анкер є склопластиковий стержень, армований на вихідному кінці спіраллю із сталевго дроту, другий кінець анкера закладається у сталеву втулку, що має зовнішню різьбу під гайку. У комплект анкера входять гумова ущільнювальна манжета і сталева опорна плитка.

Манжета застосовується для запобігання витікання з шпуру рідкого складу у перший момент його розкриття з ампули. У шпурах, пробурених горизонтально або з ухилом униз, необхідність у манжеті відпадає. Несучий склопластиковий стержень анкера виготовляється способом протягання пучка скложгута ЖС-1 (пасмо орієнтованих, рівномірно натягнутих первинних алюмоборосилікатних ниток), просочених сполучною на основі поліефірної смоли, через калібровані отвори фільтрів і камеру полімеризації ($t = 130\text{--}140^{\circ}\text{C}$) на протяжній машині 4УПС-12. Діаметр стержня $19 \pm 0,5$ мм, довжина – в залежності від призначення анкера, проте найбільш часто в межах 1000–2000 мм.

Металеве обплетення служить для підвищення надійності закладення гладкого анкера у шпурі. Обшивка, як і сталева втулка, з'єднуються із склопластиковим стержнем за допомогою епоксидного клею. Межа міцності склопластикового матеріалу стержня на розтягування $\sigma_{\text{ср}} \geq 500$ МПа, на зріз $\tau_{\text{с}} \leq 80$ МПа.

Закріплення склопластикових анкерів у шпурах масиву здійснюється виключно хімічними складами в ампулах. Для поліпшення процесу руйнування ампули стержень має скос під кутом 45° . Цьому ж служить виступаючий носик обплетення.

Новокузнецьким інститутом ВНІГідроуголь розроблено кілька нових варіантів склопластикових анкерів, загальною відмітною ознакою яких є наявність пінопластового заповнювача. Дійсно, з метою економії як склопластику, так і хімічної закріплюючої речовини (особливо при великому діаметрі шпурів 42–44 мм), цей захід доцільний.

Одна з конструкцій анкера є трубчаста склопластикова оболонка (основа), заповнена пінопластом. Вихідна частина анкера (головка) виготовлена з міцного полімербетону. Інший тип анкера – полімерний, конструктивно виконаний у вигляді стержня з арматурної сталі, укладеного в полімербетонне оправлення, кінцева частина якого розвинена в притискну головку, необхідну для кріплення склопластикових затяжок до боків

гірничих виробок. Анкери призначені для приконтурного кріплення масиву навколо виробок і виготовляються довжиною 1,6-3м.

Представляють також інтерес полімерні анкери для глибокого зміцнення масиву (довжиною 3-4м), які зводяться Безпосередньо в шпурі або свердловині шляхом розмотування склопластикової стрічки із рулону. В якості наповнювача у внутрішній простір арматури вкладається кілька (на довжину свердловини) сердечників з жорсткого пінопласту.

ІГД ім. А.А. Скочинського для підвищення міцності зчеплення з твердіючими хімічними складами розробив кручені склопластикові анкери. Відмінною особливістю анкера є його петлевий вузол, виконаний у вигляді петлі, що обгинає сталевий коуш, подібний канатному.

Шаруватий матеріал одновісної орієнтації працює у петлі на вигин, як у кривому брусі, у той час як всі інші традиційні методи з'єднання деталей (клейові, різьбові, шпонкові, заклепочні і ін.) трансформують прикладене розтягувальне навантаження у напруження зсуву вздовж шарів матеріалу.

Головна частина анкера є два розбіжних у різні боки зрізу джгута (вуса), а на відстані 15-20 мм від вузлів поперек джгутів анкеру протягується відрізок сталевого дроту діаметром 4 мм (шплінт). Функції вусів і шплінта однакові – руйнування ампул в шпурі.

Анкери виготовляють за допомогою спеціального механізму, заснованого на використанні токарного верстата, у такій послідовності. Просочена синтетичною смолою заготовка склоровінгу (джгута) накидається петлею на закріплений у патроні коуш. Обертанням задньої головки установки досягається скручування пасми на заданий крок.

Дотримання точності кроку і регулювання подачі пасма здійснюється спеціальним пристроєм. Готовий анкер підвішується у вертикальному стані для полімеризації смоли, яка виробляється при кімнатній температурі. Для прискорення процесу полімеризації підбирається система ініціювання.

Описана технологія вимагає застосування смол так званого контактного типу, у процесі полімеризації яких не виділяються побічні

продукти і не потрібен зовнішній тиск. До таких смол відносяться ненасичені поліефірні, а також епоксидні і деякі інші.

При виборі полімерних матеріалів для виготовлення анкерів виходили з того, що міцність анкера на розтягнення мало залежить від типу застосовуваної смоли, а майже повністю визначається скловолокнистим армируючим наповнювачем. Для виготовлення анкерів було випробувано три види освоєних вітчизняною промисловістю склоровінгу (джгутів) на поліефірних сполучних: РБН 10-2520-289А; РБР 10-42х60-9; РБН 13-2520-4п.

Випробування показали, що найбільш високою несучою здатністю володіють анкери з склоровінгу РБН 13-2520-4п, апретовано спеціальним гідрофобною-адгезійним складом і просоченого ненасиченою поліефірною смолою загального призначення (НПС-609-21М).

Крок навивки пасма анкеру з умов забезпечення максимальної міцності на розрив і міцності закладення в шпурі, за результатами випробувань, рекомендується приймати близько 100 мм для анкера з поперечним перерізом 200 мм². Для анкерів іншого розміру крок навивки вибирається з умов подібності. Несуча здатність анкеру з рекомендованого типу ровінгу 120–130 кН.

Армополімерне анкерне кріплення складається з арматурного стержня, що закріплюється у тильній частині свердловини або по всій довжині розчином смоли. Виступаючий у виробку кінець анкеру оформляється так само, як у звичайних анкерів і найчастіше має різьбу для нагвинчування гайки з метою створення у стержні попереднього натягу.

Армополімерні анкери використовуються на шахтах як привибійне кріплення при виїмці вугілля горизонтальними смугами з повною закладкою виробленого простору. Дане кріплення – ефективне і перспективне.

З питань вдосконалення і конструювання анкерного кріплення приділяється велика увага. Армуючий стержень простий по конструкції (рис. 4.7) [27]. Може виготовлятися з різних матеріалів: металу різного профілю, скловолокна, деревини та інших матеріалів.

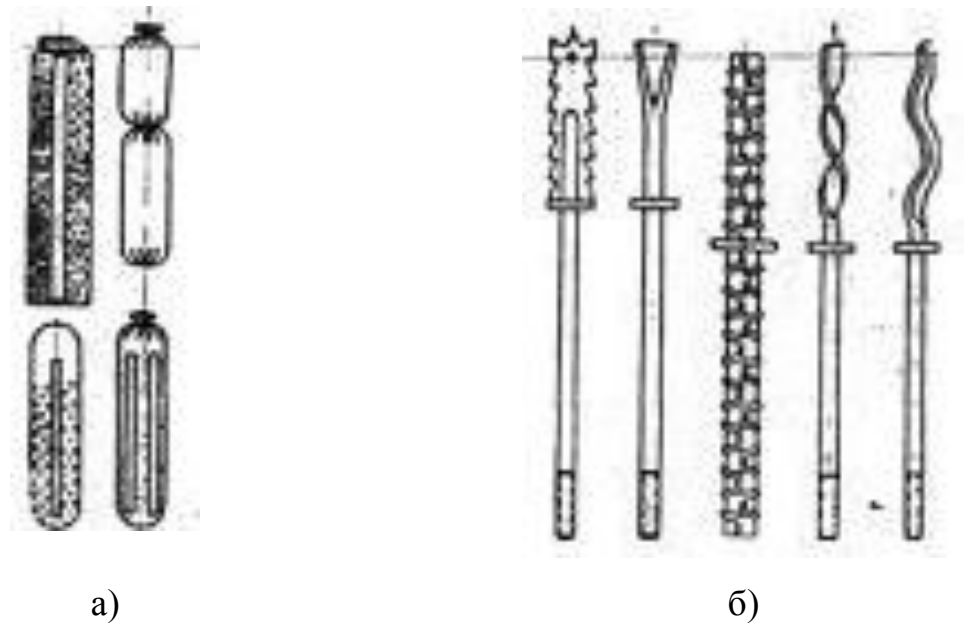


Рисунок 4.7 – Різновиди ампул (а) і армуючих стержнів (б) армополімерного анкерного кріплення (ампули у скляній і плівково-полімерній оболонці)

Використання звичайного дроту діаметром 5-6 мм з кінцем у вигляді петлі також дає хороші результати. У свердловині стержень закріплюється за допомогою ампул, а також шляхом подачі розчину в неї під тиском.

У 1956 році у США проведені дослідження в лабораторних і шахтних умовах щодо застосування смол для кріплення гірничих виробок. Встановлено, що шаруваті сланці скріплені смолами перевищують свою міцність в 3-4 рази. Завдяки ампулам з анкерним кріпленням повністю усунути обвали дуже тріщинуватої покрівлі.

Смоли повністю захищають арматурний стержень від корозії, добре протистоять дії агресивних вод і мають високу міцність (межа на розрив 140–560, на стиск 700–1400 кгс/см²). У разі застосування смоли зі звичайними анкерами значно підвищується міцність їх закріплення в слабких породах.

У Німеччині щорічно встановлюється понад 200 тисяч армополімерних анкерів. Суміш зі смоли, заповнювач (зазвичай пісок), затверджувача і у ряді

випадків прискорювача доставляється у вибій в ампулах, виготовлених зі скла або з м'якого матеріалу, які не взаємодіють з компонентами ампули.

Значний обсяг застосування армополімерних анкерів має місце і у Франції. Зовнішня оболонка ампул – плівка або папір, просочений спеціальними речовинами. Амбула міститься у кожусі з пластикової сітки, що робить оболонку жорсткою і полегшує введення у свердловину.

У ЦЕММ № 1 об'єднання Прокопьевсквугілля оболонки для ампул виготовляються зі скляних трубок, поміщених одна у іншу, або з поліетиленової плівки товщиною 100-120 мкм. Запропоновано ряд способів зведення армополімерного анкерного кріплення.

Так, в Німеччині кріплення зводиться із застосуванням суміші синтетичних смол з інертним заповнювачем і затверджувачем. Цей спосіб відрізняється тим, що з метою підвищити міцність закріплення арматурного стержня і знизити вартість кріплення затверджувача і прискорювач вводять у свердловину окремо за допомогою капсул, розміщених одна у іншій.

У Франції запатентована ампула, що складається з поліефірної смоли і каталізатора (у вигляді суміші з перекису бензолу з дібутилфталатом), які розподіляються між собою паперовою стрічкою, що покриває спочатку стержень з поліефірної смоли, а потім каталізатор, розташований навколо стержня.

Колишнім Ленінградським гірничим інститутом для прискорення процесу твердіння компонентів рекомендовано ампули і сталеві арматурні стержні попередньо нагрівати до 30°–50°С. У Кузбасі ампули з поліетиленової плівки виготовляються з двома відділеннями; в одному поміщається смола і інертний заповнювач – пісок, у іншому – затверджувач. У ІГД ім. Скочинського в цілях прискорення процесу твердіння запропоновано наступне співвідношення компонентів за масою (табл. 4.1).

Крім того, розроблені і випробувані суміші розчинів на основі епоксидної смоли з короткими (1–2 хв.) і більш тривалими (30–40 хв.) термінами затвердіння; перші для сухих порід, другі для сухих і вологих.

Склади відрізняються високою міцністю; анкер закріплений даними розчинами, витримував навантаження до 18–20 т., бували випадки при випробуванні, що розривався сам анкер, а смола витримувала велике навантаження.

Таблиця 4.1 –

Співвідношення компонентів за масою за процесом твердіння

Компоненти	Співвідношення компонентів по масі, %:
Поліефірна смола	20-40
Стирол	2-12
Перекис метилетилкетону	0,2-1,2
Ванадій	0,4-2,8
Наповнювач (пісок)	77,4-44

Такими розчинами було закріплено понад 90 тис. анкерів на шахтах об'єднань Ростовуголь, Укрзахідвугілля, Донецьквугілля і тресту Горлівськвуглебуд (на об'єктах останнього ці анкери були застосовані також в поєднанні з набризг-бетоном).

У складі (для заповнення свердловин під анкерне кріплення) на основі водного розчину карбомідної смоли 30-45%, коагулятора використовується етиловий спирт і соляна кислота (міцність зчеплення зі стінками свердловини склала 42-48 кг/см²). ВНПгідровугілля для підвищення міцності закріплення арматурного стержня у свердловині рекомендує інгредієнти в таких пропорціях (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 –

Інгредієнти для заповнення свердловин під анкерне кріплення

Компоненти	Співвідношення компонентів по масі:
Фенольно-формальдегідні смола	100
Наповнювач	50-200
Затверджувач	10-30

Наповнювачем служить кварцовий пісок, який повинен мати глинистих включень не більше 10%. Перед вживанням пісок просушується у шафі при температурі 250°-300°С. Затверджувач складається з двох компонентів – бензосульфокислоти (28,5%) і ортофосфорної кислоти (71,5%).

Для закріплення стержнів у свердловині використаний хімічний склад СШ-1; основа його – синтетичний полімер з високими адгезійними когезійними властивостями. Для додання складу СШ-1 необхідних фізико-механічних властивостей у полімер вводилися низькомолекулярні тіосполуки. Межа міцності затверділої суміші з кварцовим піском крупністю до 0,5 мм при розтягуванні досягав 700, при вигині 800, стисненні 1260 і зсуві 1400 кгс/см². Міцність закріплення стержнів у свердловинах перевищувала 13 т.

У Німеччині рекомендується застосовувати смоли для армополімерних анкерів, які вступають у реакцію, що твердіє лише при температурі 600С (переважно епоксидні і поліуретанові смоли або їх суміші). При цьому необхідна для затвердіння компонентів температура у свердловині досягається в основному за рахунок теплоти тертя, яка виникає при обертальному введенні арматурного стержня з частотою обертання 900-1000 хв⁻¹ і з тиском на стержень 1 т.

Товариством хімічних заводів Франції "Рон Пулянс" запатентована ампула з поліефірної смоли, оболонка якої складається з паперу (маса на 1м² становить 10–20 г).

У найбільш поширених ампулах з поліефірною смолою у якості затверджувача застосовується перекис бензолу, який забезпечує схоплювання протягом 30 с (що швидко) і 2–3 хв (повільно схоплюється).

Німецькою фірмою "Бергверкофербанд" запропонована ампула зі скляною оболонкою, вміст якої береться в залежності від температури у шахті. Як заповнювачі ампул для анкерів, що встановлюються у скельних породах, використовується кварцовий пісок або корунд, а у слабких породах – порошкоподібні сланці. Тієї ж фірмою розроблена ампула, що включає заповнювач 50-80, смоли 20-50, затверджувача по відношенню до смоли 2-10 частин (смола поліефірна, епоксидна, поліуретанова).

Акціонерним товариством "Косенталл Ательє де Каршпаш" (Франція) створена ампула з циліндричною гнучкою або жорсткою оболонкою, закритою з обох сторін. Вона містить синтетичну смолу, заповнювач, затверджувач і має всередині поршень для перемішування компонентів.

Фірмою "Сельфікс" (Франція) розроблені ампули з поліефірною смолою (суміш ефіру, фталевої кислоти і стиролу). Заповнювач – дрібний пісок, затверджувач-перекис метилетилкетону з піском. До складу ампули входить 28% смоли, 3% затверджувача, 69% заповнювача. Суміш після перемішування твердне через 15-20 хв (межа міцності при розтягуванні 200 кгс/см², при стисненні 1200 кгс/см², модуль пружності при розтягуванні 129,4 тис. кгс/см² лінійна усадка 0,8-1%, опір зрушенню 250 кгс/см², опір удару 7-8 кгс/см²).

Для прискорення установки армополімерних анкерів з використанням машин обертальної дії у Франції рекомендується у якості сполучної деталі з патроном машини застосовувати натяжну гайку анкера, що має відповідну пластину, яка обмежує хід гайки вчасно зануреного стержня у смолу і відділяється від неї, коли стержень продовжують обертати тієї ж машиною в напрямку загвинчування гайки після схоплювання смоли. З огляду на те що один різновид смоли не може задовольняти всім гірничо-геологічними умовами, компанією "Амерікен Сінамід" розроблено три типи смол. В Англії

в якості основного компонента ампул використовують епоксидні і поліефірні смоли. Перевагою ампул з поліефірною смолою є те, що вони досягають 80-90% їх максимальної міцності за кілька хвилин змішування. Міцність закріплення стержня анкеру у свердловині за допомогою епоксидної смоли досягає великої величини.

У ІГД ім. Скочинського розроблені розчини на основі епоксидної смоли з більш високою міцністю, ніж поліефірна смола; розчин твердіє як у сухих, так і у вологих породах. Одним з важливих властивостей розчинів є зміна в'язкості їх у період між перемішуванням складових і початком затвердіння. Для анкерів, закріплених розчином на всю довжину, бажаний розчин з більш тривалим часом затвердіння, у якого наростання в'язкості відбувається у останній період. Для анкерів, у яких закріплюється тільки хвостова частина, бажано мати коротший термін затвердіння і більш високу в'язкість.

Армополімерне анкерне кріплення почало застосовуватися у Англії з 1967 р. Стержні анкерів мали натягувальний пристрій і встановлювалися у свердловинах діаметром 43 мм. Анкер, широко застосовуваний у вугільних шахтах, показаний на рисунку 4.8, а.

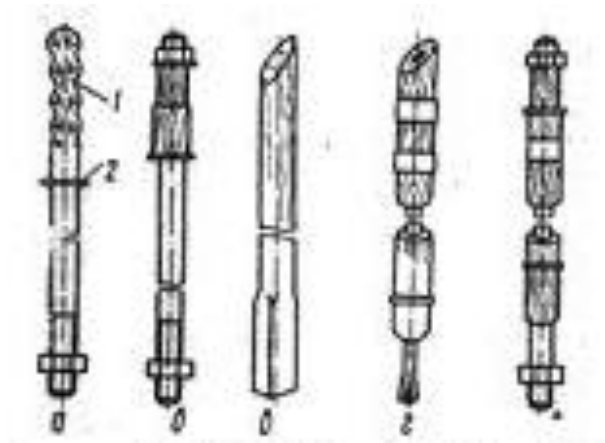


Рисунок 4.8 – Різновиди стержнів армополімерних анкерів, що застосовуються в Англії

Кінець 1 стержня розплющений у вигляді лопатки; кільце 2 втримання смоли приварене або притиснуте до стержня на відстані 20 см від його кінця.

Для закріплення стержня у свердловині використовувалися дві ампули масою по 373 г на поліефірній смолі. Щоб зменшити витрату смоли, була зроблена спроба перейти на свердловини діаметром 28 мм, але ще не вирішена проблема буріння свердловин малого діаметра по м'якій породі. Тому в Англії металеві стержні армополімерних анкерів стали обшивати деревом або укладати у пластмасу і закріплювати у свердловини діаметром 43 мм. В цьому випадку дерев'яна або пластмасова обшивка довжиною 25 см і зовнішнім діаметром 36 мм прикріплюється до кінця стержня (рис. 4.8, б). Ефективними також виявилися дерев'яні анкери, що закріплюються смолами (рис. 4.8, в), а також стержні, армовані на всю довжину (рис. 4.8, г, д). Щоб визначити надійність армополімерного кріплення, що закріплюється у свердловинах із застосуванням поліефірної смоли, в Англії проведені порівняльні дослідження. Виявилося, що у даних анкерів велика несуча здатність, ніж у металевих при меншій їх деформації.

В умовах шахт Кузбасу КузНІУІ проводилися випробування на міцність закріплення фенольнорезольною смолою дерев'яних анкерів різної конструкції. Для випробувань анкери виготовлялися з конусоподібною головкою без кільцевих і з кільцевими канавками, кінець зрізаний навскіс, головка чотиригранна з клиноподібним списом. Стержень останньої конструкції забезпечував найкраще перемішування компонентів ампули і найбільш високу міцність їх закріплення. Випробування показали, що міцність закріплення дерев'яних анкерів смолою перевищує 5 т (у вугільному і у породному масивах) і залежить від якості перемішування складу ампули.

ВНІГідровугіллям запропонована армополімерне анкерне кріплення: ампули 1 зі смолою і інертним заповнювачем у проміжок з ампулами з затверджувачем; склад їх перемішується змішувачем 2 під час руху стержня 3 у сторону дна свердловини (рис. 4.9, а). На стержні 1 (рис. 4.9, б) армополімерного анкера розташовані кліноконічеській конус 2, полувтулка 3 і кільце ущільнювача 4. У верхній частині стержня нанесено різьба для кращого зчеплення з компонентами суміші і для пересування конуса.

Фірмою "Бергверкофербанд" розроблений армополімерний анкер зі стержнем 1 (рис. 4.9, в), який з'єднується з головкою 2 анкеру за допомогою різьби 3. Головка закінчується конусом 4 і має паз 5 для гарного перемішування компонентів. У нижній частині головки розташовується кільце ущільнювача 6 з манжетами 7. Відмінною особливістю армополімерного анкеру (рис. 4.9, г), також розробленого в Німеччині є те, що на кінці стержня 1 є косий зріз 2, на бічній поверхні косі виступи 3 з лівою різьбою.

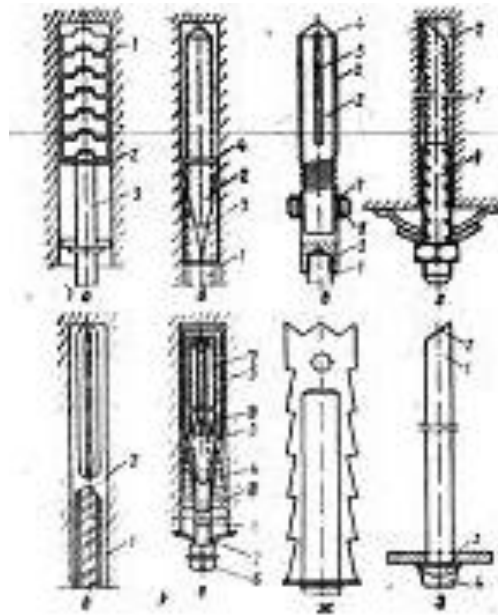


Рисунок 4.9 – Різновиди армополімерних анкерів і їх стержнів вдосконаленої конструкції

В Англії запропонували у якості арматурного використовувати трубчатий стержень 1, заповнений цементним розчином (рис. 4.9, д), з кінцем 2 неправильної клиноподібної форми. Анкер, застосовуваний в США, складається з стержня 1 з різьбою 2 на обох кінцях (рис. 4.9, е). На одному кінці стержня діаметром 18-20 мм монтується конусна гайка 3 з виступами, на ній фіксуються дві полувтулкі 4, з'єднані між собою пластинчатою скобою 5.

З протилежного боку стержня знаходиться опорна опукла шайба і гайка з контргайкою 6. Перед введенням анкера у свердловину в торцевій її

частини поміщається ампула 7 зі смолою і капсулою з затверджувачем. Для запобігання витікання зі свердловини розчину передбачено гумове ущільнення 8. Ампула закріплюється на кінці стержня, при його обертанні руйнується перемичка 9 ампула з затверджувачем, розчин надходить у замок анкеру, через що і збільшується міцність його закріплення в породах.

Замість конусної полувтулки можуть застосовуватися анкери з чотирьохпир'яною гільзою і інших різновидів. Для кращого перемішування компонентів патрона в США запропонований стержень зі спеціальною головкою (рис. 4.9, ж). У Франції рекомендують виготовляти арматурні стержні 1 зі зрізом 2 під кутом 45° і головкою 3 з підсилючим виступом 4, за допомогою якого здійснюється обертання стержня з метою переміщення компонентів патрона (рис. 4.9, з).

В області армополімерних анкерів також використовують ампули з різьбою у нижній частині для нагвинчування на стержень і подачі у свердловину.

Технологія зведення армополімерного кріплення найбільш повно розроблена в США. При виготовленні ампул з плівки використовують два способи їх формування: зі швом 1 з трьох сторін (рис. 4.10, а) і чотирьох (рис. 4.10, б). Ампула з затверджувачем поміщається в середині ампули 3 зі смолою і інертним заповнювачем. Для доставки у свердловину на ампулі відігнутий кінець 1 перев'язаний джгутом 2, утворюючи кишеню, у яку вставляється стержень 3 (рис. 4.10, в). У США також розроблений безампульний спосіб подачі розчину смоли у свердловину. Розчин 1 за рахунок вакууму, що створюється ежектором 2, при проходженні стиснутого повітря від магістралі 3, засмоктується у передаточну трубку 4 (рис. 4.10, г), а з неї досилається у свердловину поршнем 5 з повстяною або розрізною манжетою 6, яка після подачі розчину залишається у свердловині і герметизує її на час введення арматурного стержня.

На рисунку 4.10, д показаний спосіб подачі у свердловину розчину смоли насосом. З метою створення щільного контакту між опорною шайбою

1 і нерівній покрівлю 2 рекомендується розташовувати кільцеподібну ампулу 3 з отвором для пропуску стержня 4 (рис. 4.10, е). При закручуванні гайки 5 верхня поверхня ампули 3 з оболонкою з плівки приймає форму покрівлі, а нижня - опорної шайби. Після затвердіння розчину щільний контакт між опорною шайбою і нерівній покрівлю зберігається протягом усього терміну служби армополімерного анкера.

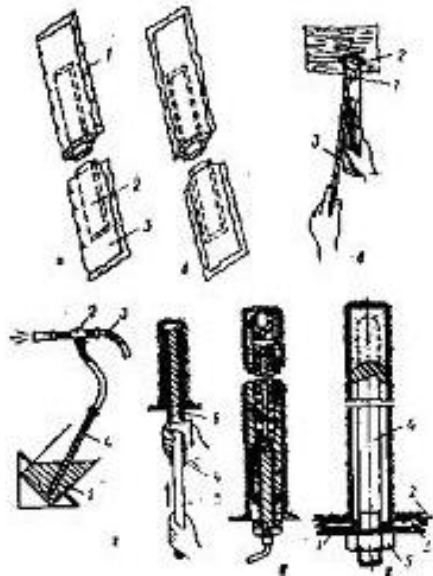


Рисунок 4.10 - Конструкція ампул і способи впливу армополімерних анкерів, розроблених в США

Таким чином, армополімерне кріплення застосовується в ряді розвинених країн – Франції, Англії, США, Німеччині. Розроблено різні склади, які міцно закріплюють армуючі стержні у свердловинах, в тому числі склади, виготовлені з деревини. У вітчизняній гірничій практиці дане кріплення може знайти більш широке застосування при анкеруванні тріщинуватих гірських порід, а також тектонічно порушених ділянок з подачею розчину смоли під тиском для заповнення тріщин.

Основні галузі ефективного застосування хімічного армування порід:

- сталевими анкерами – зміцнення сухих шаруватих порід, зруйнованих тріщинами на блоки розміром 10-50 см;
- склопластиковими анкерами – зміцнення вугільних ціликів і стелин потужних пластів, для боротьби з обдиманням ґрунту;

- дерев'яними анкерами – зміцнення верхньої частини потужних пологих пластів для боротьби з віджиманням і кліважем.

Застосовуваний для зміцнення порід в очисних вибоях спосіб хімічного анкерування дозволяє істотно знизити втрати видобутку і скоротити простої механізованих комплексів у складних гірничо-геологічних умовах.

Аналіз стану вугільного масиву після проходження комбайну показав, що основною причиною обвалення нестійкого вугільного масиву є руйнування безпосередньої покрівлі по тріщинах тиску, які перетинають всю покрівлю паралельно лінії вибою.

У сформованих гірничо-геологічних умовах найбільш перспективним є підтримка помилкової покрівлі за рахунок створення стійкої підпокрівельної пачки і запобігання віджиму вугілля у лаву за допомогою хімічного анкерування на основі фуріловоформальдегідних смол виробництва Ферганського заводу Узбекистану.

Технологія хімічного анкерування передбачала установку дерев'яних анкерів розміром $30 \times 30 \times 1800$ мм, які закріплювали по всій довжині хімічним складом на основі смоли ФФ-1Ф і кислотного затверджувача. Буріння шпурів під анкери проводили по вугіллю з інтервалом 1-1,5 на відстані 0,6-0,8 м від границі порода-вугілля, під кутом $10-15^\circ$ щодо площині пласта.

При проходженні комбайну частина дерев'яного анкера зрізається, а підпокрівельна пачка і помилкова покрівля пласта не обвалюються, стійко підтримуються частиною анкеру що залишилася на всьому протязі закріпленої за ним ділянки. Анкерування проводили у два ряди в шаховому порядку з інтервалом в 1 м між рядами і 1-1,5 м між анкерами.

Площа поперечного перерізу анкера визначалася з умови адгезійної міцності закріпленого стержня при наявності деформацій розтягу та зсуву.

Попередні лабораторні дослідження адгезійної здатності застосовуваного хімічного складу на основі смоли ФФ-1Ф показали, що властивості міцності затверділого складу досягають свого максимального значення 18 МПа.

Важливою характеристикою складу є здатність твердіти у присутності вологи, що дозволяє широко застосовувати цей тип закріплювача у вологих масивах.

Мінімальні витрати праці і часу необхідні на установку анкерів, а також високі властивості міцності закріплювача на основі смоли ФФ-1Ф, що випускається Ферганським заводом фуранових з'єднань, дозволяють рекомендувати хімічне анкерування як найбільш вживаний спосіб зміцнення вугільного масиву при інтенсивному віджиманні вугілля.

Виходячи з досвіду і практики, можна стверджувати, що область і обсяги хімічного анкерування порід і вугілля на шахтах і рудниках будуть безперервно зростати. Крім того, важливими областями підземних робіт, які вимагають застосування хімічного зміцнення вміщуючих порід, є:

- зони порушень у лавах, зміцнення тектонічно порушених породних шарів;
- вугільні укоси при комбайновому вийманні на потужних пластах;
- зруйновані шари покрівлі, зміцнення яких сприяє підтримці покрівлі лав, кріпленням без попередньої виїмки вугілля вручну.

5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО СТІЙКОСТІ ОЧИСНИХ ВИРОБОК В ПРОЦЕСІ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

5.1. Параметри нагнітання скріплюючих складів

До параметрів нагнітання скріплюючого складу у масив відносяться: довжина і кут нахилу шпуру до площини нашарування порід, відстань між шпурами, глибина герметизації устя шпуру, тиск і темп нагнітання, витрата скріплюючого складу на один шпур, а також кількість нагнітань. Величина параметрів нагнітання залежить від фізико-механічних властивостей зміцнюючих порід, їх тріщинуватості, потужності, карбонатності і обводнення, а також від застосовуваних засобів кріплення порід покрівлі і швидкості посування очисного вибою. Параметри нагнітання визначаються розрахунковим шляхом і потім уточнюються за фактичними результатами.

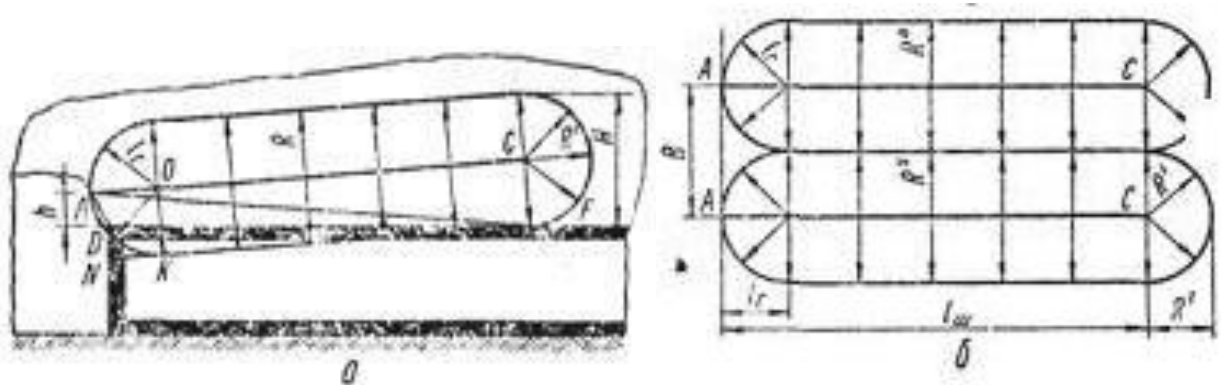


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема для визначення втрат скріплюючого складу: а – вертикальна проекція шпурів; б - горизонтальна проекція шпурів; ($l_{ш}=AC$ – довжина шпуру; l_g – довжина герметизації; R – радіус поширення скріплюючого складу у вертикальній площині; R'' – радіус поширення скріплюючого складу у горизонтальній площині; R' – радіус поширення скріплюючого складу у глибину масиву; B – відстань між шпурами; H – потужність зміцнюваного шару)

Довжина шпурів повинна на 0,5 м перевищувати величину посування очисного вибою (рис. 5.1) [25]

$$l_{ш} = n \cdot l_c - R' + 0.5, \text{ м} \quad (5.1)$$

де l_c – добове посування лінії очисного вибою, м;

n – кількість діб, на час яких готується фронт роботи очисному вибою.

При зміцненні порід покрівлі на шахтах Донбасу довжина шпуру при їх бурінні з очисного вибою становила не більше 3,5 м.

Кут нахилу шпуру до площини нашарування порід визначається станом покрівлі перед роботами по її зміцненню. При наявності вертикальної площини обвалення порід шпури бурят практично паралельно нашаруванню порід. Висота h (рис. 5.1) повинна наближатися до половини величини потужності зміцнюваного шару порід $H/2$, радіус R поширення скріплюючого складу не повинен бути більш $H/2$. Дно шпуру раціональніше розміщувати у точці C (рис. 5.1, а), розташованої над пластом вугілля на висоті $H/2$. Якщо $h=0$, що може бути при профілактичному нагнітанні складів, то в залежності від глибини герметизації гирла шпуру l_r значна частина скріплюючого складу буде проникати у вугільний пласт.

Ці непродуктивні втрати скріплюючого складу з достатньою точністю можна поррахувати, зробивши припущення, що площа $S_{AKF} = S_{ANF}$.

Тоді втрати складу визначають:

$$V_z = l_z \cdot h \cdot l_{ш} \cdot R'' \cdot q. \quad (5.2)$$

5.2. Параметри нагнітання для магнезіальних в'язучих сумішей

Для встановлення технологічних параметрів нагнітання контрольні шпури, пробурені у зоні обвалення до основної покрівлі, інструментально досліджували з метою оцінки розташування і розкриття тріщин. Як показали дослідження шпурових каналів, максимальне розкриття тріщин не перевищувало 10-12 мм на відстані 0,3-0,8 м від устя шпуру і 1-2 мм на відстані 1,5-2 м.

За умови рівності максимальних напружень вигину і стиснення у зміцнюючій покрівлі потужність зміцнюваного шару 1,2-1,5м – визначається

із виразу:

$$h \geq \frac{1}{B} \cdot \sqrt{\frac{0.6 \cdot R \cdot \gamma \cdot H \cdot l}{[\sigma]}} \quad (5.3)$$

де γ – середня об'ємна вага порід, т/м³;

H – потужність безпосередньої покрівлі, м;

$[\sigma]$ – межа міцності порід на стиснення, МПа;

l – проліт обвалення, м;

B – ширина зміцнюючої смуги, м;

R – радіус поширення складу, м.

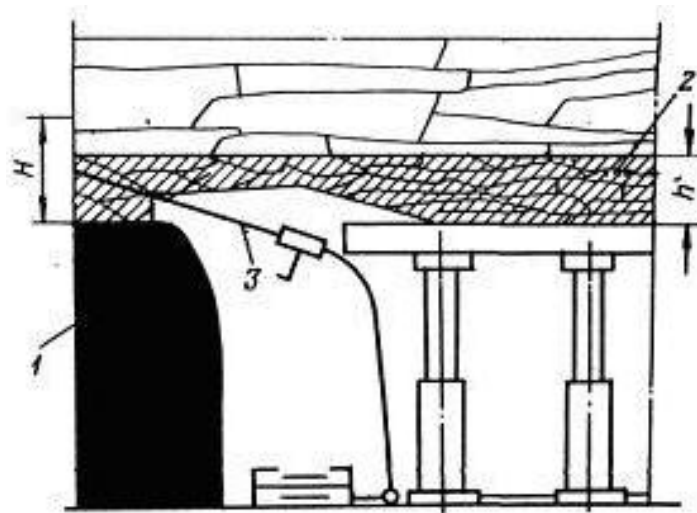


Рисунок 5.2 – Схема зміцнення помилкової покрівлі очисного вибою магnezіальними в'язучими: 1 – вугільний пласт; 2 – помилкова покрівля; 3 – нагнітальна апаратура.

Згідно з тріщинуватістю, а також граничним значенням радіусу розтікання магnezіального в'язучого, призначалися кількість шпурів, кут їх нахилу, розташування по обваленій покрівлі, а також вибиралася технологічна схема нагнітання в'язучого (рис. 5.2), при якій спочатку оброблялися верхні шари покрівлі, а потім нижні.

Граничне значення радіусу розтікання магnezіального в'язучого визначається за формулою:

$$R_{\max} = \frac{2 \cdot \alpha \cdot k_{np} \cdot P}{m \cdot \delta \cdot \tau_0} \quad (5.4)$$

де k_{np} – коефіцієнт проникності тріщинуватого середовища;

P – тиск нагнітання, МПа;

m – коефіцієнт шпаруватості;

δ – середня товщина тріщини, м;

τ_0 – граничне напруження зсуву, МПа;

α – коефіцієнт відносної проникності;

5.3. Вибір способу зміцнення порід покрівлі швидкотвердіючими складами

Головним критерієм, відповідно до якого вибираються спосіб та параметри технологічної схеми зміцнення порід покрівлі, є їхня середня кускуватість при обваленнях.

До першої (I) групи відносяться породи, у яких при обваленні переважають шматки з розмірами менше 0,1 м, до другої (II) – 0,1..0,3м, до третьої (III) – 0,3...0,5м і до четвертої (IV) – більше 0,5м.

Умови, у яких застосування кожного із способів зміцнення буде найбільш доцільним, наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 –

Умови застосування способів зміцнення порід покрівлі

Властивості порід, що зміцнюються	Доцільні способи зміцнення	
	Нагнітання поліуретанових складів	Хімічне анкерування
Потужність порід, що обрушуються $h_{обр}$, м	Більше 0,8	Більше 0,4
Група порід з кускуватості	I и II	II, III и IV

Крім того, пласт, на якому проводиться зміцнення порід покрівлі швидкотвердіючими складами, не повинен бути підроблений нижче на відстані менше 15 м.

Процес нагнітання скріплюючого поліуретанового складу (рис. 5.3) включає: підготовчі операції (буріння шпурів, монтаж лінії гучномовного або телефонного зв'язку, доставка в лаву запірно-змішувальної арматури, доставка до нагнітальної установки ємностей з компонентами скріплювального складу, якими є поліол і поліізоціанат, перевірка працездатності нагнітального обладнання та ін. безпосередньо роботи з нагнітання та заключні операції (демонтаж змішувально-запірної арматури, прибирання засобів буріння, промивання нагнітальної установки, демонтаж лінії зв'язку та ін.).

Нагнітання поліуретанових складів здійснюється через шпури діаметром 42...45 мм і завдовжки 4,0...4,5 м. Герметизація їх здійснюється на глибині 1,2...1,5 м. Номінальний тиск нагнітання - 2...5 МПа, темп нагнітання 7. ...9 л/хв.

Кут підйому шпурів для нагнітання, відстань між ними та витрата складу на один шпур вибираються відповідно до даних таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 –

Параметри способу зміцнення порід покрівлі нагнітанням поліуретанових складів

Властивості порід, що зміцнюються		Кут підйому шпурів, град	Відстань між шпурами, м	Витрата складу на шпур, кг
Потужність порід, що обрушуються $h_{обр}$, м	Група порід з кускуватості			
Менш 1,5м	I	10...15	2,5...3,0	100...140
	II	10...15	3,5...4,0	160...180
Більше 1,5м	I	15...20	3,0...3,5	160...200
	II	15...20	4,0...5,0	200...250

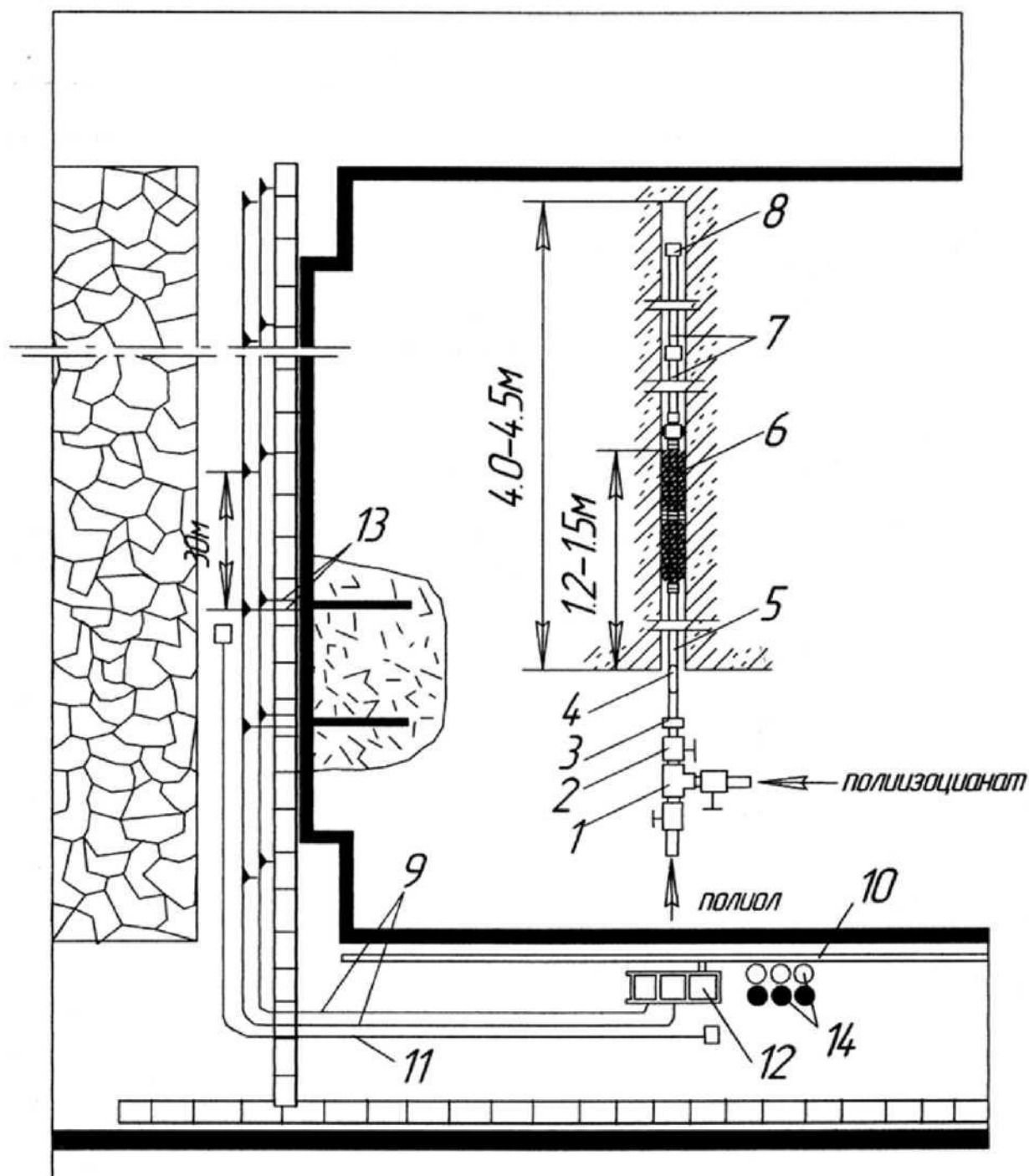


Рисунок 5.3 - Технологічна схема зміцнення порід покрівлі нагнітання поліуретанових складів: 1 - трійник; 2 - кульовий кран; 3 - ніпель; 4 - лабіринтний змішувач; 5 - завантажувальна трубка; 6 - герметизатор; 7 - подовжувальні трубки; 8 - зворотний клапан; 9 - високонапірна магістраль; 10 - стиснене повітря; 11 - телефонний зв'язок; 12 - нагнітальна установка; 13 - відвідні шланги; 14 - ємності з компонентами.

Уточнення значень параметрів нагнітання в межах діапазонів, що рекомендуються, здійснюється для конкретних гірничо-геологічних умов за результатами пробних нагнітань.

Повторне виконання робіт з нагнітання поліуретанових складів рекомендується проводити після просування лави на 3,5...4,0 м. Якщо при поруху лави на 2,0...2,5 м спостерігаються значні обвалення порід, нагнітання слід повторити в шпури, пробурені в проміжках між первісними.

На період роботи зі зміцнення порід покрівлі на ділянці виїмки рекомендується організувати бригаду в кількості 4 осіб під керівництвом інженерно-технічного працівника. Члени бригади повинні виконувати такі роботи: один робітник керує нагнітальною установкою, другий - заливає компоненти складу у видаткові ємності та двоє робітників виконують операції у зоні зміцнення – герметизують шпури, підключають їх до магістралі, здійснюють контроль за ходом зміцнення.

Буріння шпурів проводиться бурильниками у складі робітників очисного вибою. Необхідно так організувати процес зміцнення, щоб на початку нагнітання було пробурене щонайменше двох шпурів. Надалі роботи з буріння та нагнітання можуть проводитися паралельно.

Роботи зміцнення порід покрівлі рекомендується виконувати в ремонтно-підготовчу зміну. Площа зміцнюваної зони може досягати 100...140 м² покрівлі за зміну, протяжність зміцнюваної ділянки нестійкої покрівлі по довжині лави - 20...35 м, кількість оброблюваних за зміну шпурів - 6...8.

5.3. Техніко-економічна ефективність технології зміцнення порід

Технологія зміцнення порід і вугілля фізико-хімічним способом дозволяє досягти наступних техніко-економічних показників:

- підвищення продуктивності механізованого комплексу і збільшення обсягу видобутку внаслідок скорочення втрат часу на виконання

непродуктивних операцій, пов'язаних з обваленням покрівлі, що збільшує чистий час роботи комплексу з видобутку вугілля;

- скорочення трудомісткості виконання робіт за рахунок зменшення обсягу робіт по зведенню випереджаючого кріплення і затягуванні покрівлі;
- зниження зольності вугілля, що видобувається.

При розрахунку економічної ефективності у якості порівнюваного, базового варіанту приймається спосіб підтримки порід покрівлі за допомогою випереджаючого кріплення (металевих рейок) з подальшим затягуванням лісоматеріалом.

Економічний ефект E (грн) від застосування технології зміцнення порід і вугілля фізико-хімічним способом підраховується за формулою:

$$E = k_1 - c_2 - E_n \cdot k_2 - k_1 \cdot A_2 + E_{неп}, \quad (5.5)$$

де c_1 і c_2 – собівартість 1 т вугілля, видобутої за базовим (1) і новому (2) варіантів, грн./т;

$E_n=0,15$ – нормативний коефіцієнт капітальних вкладень;

k_1 і k_2 – питомі капітальні вкладення на 1 т вугілля, видобутого за базовим і новим варіантам, грн./ т;

A_2 – обсяг видобутку вугілля за період застосування технології зміцнення, т;

$E_{неп}$ – непрямий ефект від впровадження нової технології зміцнення, грн.

При визначенні річного обсягу видобутку як за новим, так і базовим варіантом враховується добове навантаження на очисний вибій, тривалість відпрацювання стовпа, довжина стовпа і лави, виймальну потужність пласта, тривалість освоєння комплексу.

Для розрахунку собівартості вугілля без застосування і в результаті застосування технології зміцнення порід хімічними складами враховуються повна заробітна плата (пряма і доплати до неї), нарахування на зарплату, витрати на матеріали, витрати на електроенергію, амортизаційні відрахування від вартості обладнання та інших основних фондів, вартість монтажу і демонтажу комплексу.

У розрахунку слід також враховувати такі фактори, як амортизаційні відрахування, які визначаються на підставі розрахунку питомих капітальних вкладень і добових амортизаційних відрахувань, витрати на монтажні-демонтажні роботи за всіма видами використовуваного обладнання, а також непрямі наслідки застосування технології зміцнення гірських порід і вугілля сполучними хімічними складами. Непрямий ефект у результаті впровадження технології зміцнення гірських масивів фізико-хімічним способом виходить за рахунок підвищення навантаження на очисний вибій, зменшення зольності вугілля, що видобувається, скорочення втрат вугілля в результаті залишення при базовому варіанті захисної пачки у покрівлі.

При збільшенні навантаження на окремий очисний вибій і постійного видобутку вугілля по шахті в цілому, якщо відома величина умовно-постійних витрат для даного вибою до і після підвищення навантаження, річний економічний ефект враховує умовно-постійні витрати на обслуговування очисного вибою до і після підвищення навантаження (тис. грн.) і коефіцієнт зростання навантаження на очисний вибій при введенні нової техніки.

Таким чином економічний ефект E (грн) від застосування технології зміцнення порід і вугілля фізико-хімічним способом складе:

$$E = K_1 - c_2 \cdot E_n \cdot K_2 - k_1 \cdot A_2 + E_{неп} = \\ = (1750 - 1630) - 0.15 \cdot (1340 - 1280) \cdot 129100 \cdot 12 = 14,33 \text{ міль. грн / рік}$$

де c_1 і c_2 – собівартість 1 т вугілля, видобутої за базовим (1) і новому (2) варіантів, грн./т;

$E_n=0,15$ – нормативний коефіцієнт капітальних вкладень;

k_1 і k_2 – питомі капітальні вкладення на 1 т вугілля, видобутого за базовим і новим варіантам, грн./ т;

A_2 – обсяг видобутку вугілля за період застосування технології зміцнення, т;

$E_{неп}$ – непрямий ефект від впровадження нової технології зміцнення, грн.

ВИСНОВКИ

1. Виходячи з досвіду і практики, можна стверджувати, що область і обсяги хімічного анкерування порід і вугілля на шахтах і рудниках будуть безперервно зростати. Крім того, важливими областями підземних робіт, які вимагають застосування хімічного зміцнення вміщуючих порід, є:

- зони порушень у лавах, зміцнення тектонічно порушених породних шарів;
- вугільні укоси при комбайновому вийманні на потужних пластах;
- зруйновані шари покрівлі, зміцнення яких сприяє підтримці покрівлі лав, кріпленням без попередньої виїмки вугілля вручну.

Стійкість порід покрівлі у привибійному просторі істотно залежить від ступеня їх попередньої тріщинуватості, що сформувалася попереду очисного вибою під впливом опорного тиску, а також від величини осідань над виробленим простором прилеглих порід підробленої товщі. Позаду лави породи покрівлі розшаровуються, ростуть величини їх осідання і тріщинуватість породних шарів в результаті дії значних згинальних (розтягувальних) напружень.

У кожному конкретному випадку, виходячи з гірничо-геологічних умов, вирішується питання про ефективність застосування зміцнення порід покрівлі у очисному вибої шляхом нагнітання в них зміцнюючих сумішей або хімічного анкерування, а при великій висоті обвалень – споруди ангідритових перемичок. Застосування повної закладки виробленого простору поряд із запобіганням обвалень порід покрівлі дозволяє за рахунок залишення породи в шахті поліпшити екологічну обстановку в Донбасі і зменшити площу родючих земель, що відводяться під породні відвали.

Процес утворення тріщин в покрівлі пласта при різних способах управління покрівлею залишається поки недостатньо вивченим.

2. Лабораторні експерименти показали:

- Зі збільшенням кута нахилу зразка алевроліту при випробуванні маємо тенденцію зменшення нормальних руйнуючих напружень;
- Зі збільшенням кута нахилу зразка алевроліту при випробуванні маємо тенденцію лінійного зростання дотичних руйнуючих напружень;
- Зміна кута нахилу зразка алевроліту змінює долю участі руйнуючих напружень – перетворюючи стискаючи напруження у дотичні і навпаки. Для руйнування зразка алевроліту потребує: чим більше стискаючи напруження тим менш необхідно дотичних, і навпаки чим менш стискаючи напружень тим більш необхідно дотичних.
- Отриманий ефективний коефіцієнт інтенсивності напруження алевроліту K_{ef} (середнє значення $0,926 \text{ МПа}\sqrt{м}$) уявляє собою в'язкість руйнування пісковику на площадці руйнування при дії нормальних та дотичних напруженнях. Критерій руйнування порід у масиві $K_{d.ef} \leq K_{ef}$.

3. Чисельні дослідження напружено-деформованого стану гірських порід навколо очисних виробок, показали: послідовність обвалення породних шарів, а також участь шарів порід у формуванні напруженого стану і перерозподіл напруження до і після обвалення породних шарів.

4. Величини і напрямки дії головних нормальних напружень становить найбільший інтерес з точки зору не тільки міцності елемента, але і формування кута розповсюдження тріщини. Як для гірського масиву це проявляє особливий інтерес у якості характеру руйнування і обвалення порід.

Встановлено, що кут утворення тріщини у масиві залежить від положення головних нормальних напружень, площадка яких залежить від осьових нормальних і дотичних напружень. Чим більше дотичні напруження тим більш кут нахилу головних площадок.

Для визначення зони руйнування (утворення вивалу) шару основної

покрівлі прийнятий критерій тріщиноутворення $\sqrt{K_I^2 + K_{II}^2} \leq K_{ef}$. Отже якщо критерій не виконується призначаємо, що у цьому випадку почалось руйнування масиву, тобто утворення або поширення тріщини. Даний критерій показав непогані результати по визначенню зони вивалу порід покрівлі у очисному вибою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Давидянц В.Т. Управление кровлей полным обрушением.— М.: Углетехиздат. — 1957,184с.
2. Методы и средства решения задач горной геомеханики / Г.Н. Кузнецов, К.А. Аодашев, Н.А. Филатов и др. — М.: Недра, 1987. — 248 с.
3. Кияшко И.Л. Процессы подземных горных работ: Учебник. — 2-е изд. перераб. и доп. — К: Вища шк.,1992; — 335с.
4. Кравченко В.И. Предупреждение завалов очистных забоев //В.И. Кравченко — М.: Недра, 1970. — 200 с.
5. Грядущий, Ю. Б. Геомеханические основы управления вывалоопасными кровлями в очистных забоях / Автореферат на соискание уч. степени доктора технических наук. — Днепропетровск, 1997. — 35 с.
6. Хозяїкіна, Н.В. Закономірності зміни граничного напруженого стану у складно структурній покрівлі лав положистих вугільних пластів. Автореферат на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук /Н.В. Хозяїкіна — Дніпропетровськ, 2004.— 18 с.
7. Рязанцев, Н.А. О чем свидетельствует наличие вывалов в кровле и пучение почвы в выработках ОП «Шахта «Стаханова» /Н.А. Рязанцев, А.Н Рязанцев., Н.А Рязанцева. // Зб. матеріалів регіональної наук.-практ. конф. «Проблеми гірничої технології», КП ДонНТУ, 30 лист.2012 р. — Донецьк: ООО «Цифровая типография», 2012. — С.42-45.
8. Разработка критерия вывалообразования пород кровли очистных забоев / О.Ю. Белогуб, Г.И. Соловьев, Л.Л. Бачурин, А.И. Сергиенко, М.В. Федоренко, С.В. Козырь // Геотехнічна механіка: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2013. — Вып. 110. — с. 39-49. — Бібліогр.: 6 назв. — рос.
9. Белогуб О.Ю. Критерій вивалонебезпечності порід покрівлі очисних вибоїв глибоких шахт // О. Ю. Белогуб, Г.И. Соловьев, Я.О. Ляшок // Зб. матеріалів V регіональної наук.-практ. конф. «Дні науки-2013», 23 травня

2013. – Красноармійськ: КП ДонНТУ, 2013 р. Т.1. – С. 52-55.

10. Врублевский В.И. Сопротивление горных пород разрушению. - Киев: «Техніка», 1964. - 222 с.

11. Руппенейт К.В., Механические свойства горных пород, Углетехиздат, 1956.

12. Фисенко Г.Л., Определение сцепления и коэффициента внутреннего трения полускальных горных пород Коркинского месторождения, Сб. трудов Всесоюзного научно-исследовательского Макшейдеровского института (ВНИМИ), т. 27, Углетехиздат, 1953.

13. Механика разрушения на базе компьютерных технологии. Практикум / В.М. Пестриков, Е.М. Морозов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007, – 464 с.: ил.

14. Седов Л.И. Механика сплошной среды, т. I, – М., Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1970 г., стр. 492 с.

15. Баклашов И.В. Механика горных пород. / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия, «Недра», 1975. 271 с.

16. Подгорный А.Н. Задачи контактного взаимодействия элементов конструкций. / А.Н. Подгорный, П.П. Гонтаровский, Б.Н. Киркач и др. Ин-т проблем машиностроения. – Киев : Наук, думка, 1989.– 232 с.

17. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справочное пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. 512 с.

18. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2005. – 448 с.: ил.

19. В.В. Кара, Р.Г. Ильюшенко, Ю. Н. Цедрик. Скрепляющие составы для упрочнения пород кровли в очистных забоях // Уголь Украины. - 1978. - № 1-с. 11-12.

20. Самойлов В.Л., Дёминов А.Н. Анализ мероприятий по предотвращению обрушений ложной кровли в очистном забое // «Геотехнология и управление производством 21 века». Сборник научных трудов 2 международной научно-практической конференции 2-3 октября 2007 г. Донецк 2007. с. 19-25.

21. В.К. Сальников, И.М. Данильченко, З. П. Кобрина. Испытания

полиуретановых составов для укрепления неустойчивых пород // Уголь Украины. - 1983. - № 12 - с. 10-13.

22. В.В. Кара, В.К. Сальников. Химическое анкерование в очистных забоях // Уголь Украины. - 1977. - № 7.- с.20-22.

23. М.П. Зборщик, С.В. Подкопаев. Механизм повышения устойчивости кровли в лавах при закладке выработанного пространства // Уголь Украины. - 1992. - № 5 - с.20-23.

24. Краэ Ю., Шрер Д., Шмидт Э. Заполнение вывалов породы из кровли ангидритом в лавах со щитовой крепью // Глюкауф. - 1987. - № 7 - с.6-9

25. Давыдов В.В, Белоусов И.Ю. Химический способ укрепления горных пород. – М.: Недра, 1977.

26. Беляев В.Ф., Механические и физико-химические способы укрепления горных пород. М., Недра 1987г.

27. А.П. Широков В.В. Давыдов. Армополимерная анкерная крепь “Уголь Украины”, декабрь, 1977г.