

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

Кафедра управління гірничим виробництвом і охорони праці

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Я.О. Ляшок
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2021 рік

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра
(освітній ступінь)

на тему «Геомеханічне обґрунтування параметрів технологічної схеми
очисних робіт з метою зменшення виробничого травматизму»

Виконав: студент 2 курсу, групи ОПГм-20
Спеціальності 184 «Гірництво»

Саламатіна Юлія Євгенівна

Керівник

доцент кафедри управління гірничим виробництвом і охорони праці, доц.,
к.т.н., Ісаєнков О.О.

Рецензент

Нормоконтроль

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

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

Студент _____
(підпис)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра Управління гірничим виробництвом і охорони праці

Спеціальність 184 Гірництво

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Я.О. Ляшок

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Саламатиній Юлії Євгенівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Геомеханічне обґрунтування параметрів технологічної схеми очисних робіт з метою зменшення виробничого травматизму»

Керівник роботи Ісаєнков Олександр Олександрович, доц. каф. управління гірничим виробництвом, доц., к.т.н.

затверджена наказом по університету від

2. Термін подання студентом закінченої роботи 15 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) матеріали звіту про переддипломну практику, гірничо-геологічні умови та техніко-економічні параметри шахт: характеристика району розташування шахти; геологія родовища і шахтного поля; характеристика вугільних пластів і порід; границі, розміри шахтного поля і запаси в ньому; загальна характеристика діючої шахти; техніко-економічні показники роботи підприємства за звітний період 2020 року і поточний період 2021 року

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити). АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ДОСВІДУ І НАПРЯМКІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЕОМЕХАНІЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ РОЗРОБКИ КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ СКЛОННИХ ДО ГІРНИХ УДАРУ. РОЗРОБКА МЕТОДУ ПРОГНОЗУ ПОТЕНЦІЙНОЇ УДАРОБЕЗПЕКИ ВІДРОБНОГО ВУГІЛЬНОГО ПЛАСТА ДЛЯ ОЦІНКИ НАПРУЖНОГО СТАНУ ВУГЛЮ В МІЖКАМІРНИХ ЦЕЛИКАХ І КРАЄВИХ ДІЛЬНИЦЯХ ПОТУЖНОГО ПЛАСТА. ЗАДАЧІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГНОЗУ РОЗВИТКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ ГІРНИЧОГО МАСИВУ. ДИНАМІЧНІ ЯВИЩА ЯК СЛІДСТВО ВЗАЄМОЗМІНИ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ І МЕТАНОБІЛЬНОСТІ ВУГЛЕРОДНОГО МАСИВУ. СТРУКТУРА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В ПРОЦЕСАХ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ І ПРОГНОЗУ РОЗВИТКУ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПІДЗЕМНОМУ ПРОСТОРІ. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ЗАХОДІВ БОРОТБИ З МЕТАНОМ НА ВИЙМАЛЬНИЙ ДІЛЬНИЦІ

5. Консультанти з роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

6. Дата видачі завдання 01 вересня 2021 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1.	АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ДОСВІДУ І НАПРЯМКІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЕОМЕХАНІЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ РОЗРОБКИ КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ СКЛОННИХ ДО ГІРНИХ УДАРУ	<i>вересень</i>	
2.	РОЗРОБКА МЕТОДУ ПРОГНОЗУ ПОТЕНЦІЙНОЇ УДАРОБЕЗПЕКИ ВІДРОБНОГО ВУГІЛЬНОГО ПЛАСТА ДЛЯ ОЦІНКИ НАПРУЖНОГО СТАНУ ВУГЛЮ В МІЖКАМІРНИХ ЦЕЛИКАХ І КРАЄВИХ ДІЛЬНИЦЯХ ПОТУЖНОГО ПЛАСТА	<i>вересень</i>	
3.	ЗАДАЧІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГНОЗУ РОЗВИТКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ ГІРНИЧОГО МАСИВУ	<i>жовтень</i>	
4.	ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМУВАННЯ ПРИКОНТУРНОГО МАСИВУ І ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ГЛИБОКИХ ГОРИЗОНТІВ НА МОДЕЛЯХ З ЕКВІВАЛЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ	<i>жовтень</i>	
5.	СТРУКТУРА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В ПРОЦЕСАХ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ І ПРОГНОЗУ РОЗВИТКУ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПІДЗЕМНОМУ ПРОСТОРІ	<i>листопад</i>	
6.	ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ЗАХОДІВ БОРОТЬБИ З МЕТАНОМ НА ВИЙМАЛЬНІЙ ДІЛЬНИЦІ	<i>грудень</i>	

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Саламатіна Юлія Євгенівна. Геомеханічне обґрунтування параметрів технологічної схеми очисних робіт з метою зменшення виробничого травматизму.

Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 184 «Гірництво» – ДНВЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2021.

На сучасному етапі експлуатація вугільних шахт характеризується суттєво збільшеною інтенсивністю відпрацювання родовищ, десятками метрів добового просування лав та підготовчих виробок, що призводить до неефективного застосування відомих зарубіжних та вітчизняних технічних засобів оперативного своєчасного прогнозу виникнення та розвитку небезпечних геогазодинамічних явищ (ГДЯ) у безперервному режимі підземної розробки вугільних родовищ.

Актуальними з погляду своєчасного прогнозу розвитку ГДЯ у масиві і, як наслідок, небезпечної зміни аерогазового стану гірничих виробок стають лише ті методи, які здатні вирішувати завдання прогнозу на дистанціях перших десятків та сотень метрів від місць ведення гірничих робіт – у зоні активного взаємовпливу гірничого масиву та самих гірничих виробок. Ця вимога, в свою чергу, визначає дещо інші в порівнянні з діючими підходами до теоретичного опису, побудови моделі фізико-геологічних та пов'язаних з ними інформаційних характеристик гірського масиву, способи та апаратурні рішення контролю структури та параметрів цих зон.

Ключові слова

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ, НЕБЕЗПЕЧНІ ГЕОГАЗОДИНАМІЧНІ ЯВИЩА, ЗМІНА АЕРОГАЗОВОГО СТАНУ, ПОБУДОВА МОДЕЛІ, ІНФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

SUMMARY

Salamatina Yuliia Yevhenivna. Geomechanical substantiation of the parameters the technological scheme of mining works in order to reduce occupational injuries.

Graduation qualification work for a master's degree in specialty 184 "Mining" - DNVZ "DonNTU", Pokrovsk, 2021.

At the present stage, the operation of coal mines is characterized by significantly increased intensity of field development, tens of meters of daily advancement of lavas and preparatory workings, which leads to inefficient use of known foreign and domestic technical means of operational timely forecasting and development of coal deposits.

Only those methods that can solve the problem of forecasting at distances of the first tens and hundreds of meters from the sites of mining operations - in the zone of active interaction of the mine and the mines themselves. This requirement, in turn, defines somewhat different in comparison with current approaches to theoretical description, construction of models of physical-geological and related information characteristics of the mountain range, methods and hardware solutions to control the structure and parameters of these zones.

Keywords

EXPLOITATION OF COAL MINES, DANGEROUS GEOGASYNAMIC PHENOMENA, CHANGES OF AEROGAS STATE, CONSTRUCTION OF MODELS, INFORMATIONAL CHARACTERISTICS

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ДОСВІДУ І НАПРЯМКІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЕОМЕХАНІЧНОГО ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ РОЗРОБКИ КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ СКЛОННИХ ДО ГІРНИХ УДАРУ	11
2. РОЗРОБКА МЕТОДУ ПРОГНОЗУ ПОТЕНЦІЙНОЇ УДАРОБЕЗПЕКИ ВІДРОБНОГО ВУГІЛЬНОГО ПЛАСТА ДЛЯ ОЦІНКИ НАПРУЖНОГО СТАНУ ВУГЛЮ В МІЖКАМІРНИХ ЦЕЛИКАХ І КРАЄВИХ ДІЛЬНИЦЯХ ПОТУЖНОГО ПЛАСТА	23
3. ЗАДАЧІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГНОЗУ РОЗВИТКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ ГІРНИЧОГО МАСИВУ	28
4. ДИНАМІЧНІ ЯВИЩА ЯК СЛІДСТВО ВЗАЄМОЗМІНИ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ І МЕТАНОБИЛЬНОСТІ ВУГЛЕРОДНОГО МАСИВУ	63
5. СТРУКТУРА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В ПРОЦЕСАХ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ І ПРОГНОЗУ РОЗВИТКУ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПІДЗЕМНОМУ ПРОСТОРІ	72
6. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ЗАХОДІВ БОРОТЬБИ З МЕТАНОМ НА ВИЙМАЛЬНІЙ ДІЛЬНИЦІ.....	81
ВИСНОВКИ.....	94
ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	95
ДОДАТКИ.....	102

ВСТУП

Актуальність роботи

На вугільних шахтах понад 85% загального обсягу підземного видобутку на вугільних пластах здійснюється довгими комплексно-механізованими вибоями з повним обваленням порід покрівлі. Область застосування обмежена ділянками прямокутної форми з витриманими за потужністю та кутом падіння вугільними пластами. Чинниками, що ускладнюють ефективність застосування, є обмежена площа виїмкових ділянок, наявність диз'юнктивних порушень, змінна потужність пластів, що призводить до вибіркового відпрацювання шахтного поля, зменшенню коефіцієнта вилучення вугілля до 50%, зниження періоду сталої роботи шахт.

Альтернативним варіантом виїмки вугільних пластів, здатним підвищити ефективність підземної геотехнології, є системи розробки короткими вибоями. Проте можливість їх використання обмежена чинними нормативними документами, згідно з якими камерні та камерно-стовпові системи розробки можуть застосовуватись на глибині не більше 200м при відпрацюванні вугільних пластів, не схильних до динамічним явищам.

Для розширення області застосування коротковибійних систем розробки в умовах, нерегламентованих чинними нормативними документами, необхідним є проведення комплексних аналітичних та шахтних досліджень, використання результатів яких на стадіях проектування шахт та відпрацювання вугільних пластів дозволить знизити втрати вугілля та витрати на проведення протиударних заходів для забезпечення безпеки ведення гірничих робіт.

У зв'язку з цим геомеханічне обґрунтування параметрів систем розробки короткими вибоями схильних до гірських ударів потужних вугільних пластів на основі інтеграції результатів кількісного прогнозування прояви динамічних явищ, точкових шахтних вимірювань

параметрів стану масиву гірських порід та масштабного виробничого експерименту з управління ударонебезпечністю масиву гірських порід є актуальним науковим завданням, що має суттєве значення для розвитку галузі наук про Землю.

Ступінь розробленості теми дослідження

Для геомеханічного забезпечення коротковибійних систем підземної розробки схильних до гірських ударів потужних вугільних пластів, а також досвід управління геомеханічними процесами при відпрацюванні вугільних пластів довгими вибоями, проведено узагальнення варіантів коротковибійних систем розробки, апробованих цих пластах.

Встановлено, що одним із індикаторів, характерних для високої ймовірності виникнення гірського удару, що є важкообрушеною покрівля. Дослідженню впливу цього фактора у Кузбасі присвячені роботи відомих вчених та практиків: В.Б. Артем'єв, Г. Браунер, Ф.П. Бублик, В.А., Гоголін, Ю.В. Громов, В.П. Дудукалов, В.В. Дірдін, П.В. Єгоров, Ф.П. Івченко, С.І. Калінін, Г.І. Коршунов, Т.І. Лазаревич, А.А. Лінків, Л.Д. Павлова, А.І. Петров, І.М. Петухов, А.А. Ренєв, М.А. Розенбаум, В.М. Серяков, В.А. Хмяляйнен, О.А. Хачай, Х.В. Хувє, Н.В. Черданців, С.В. Черданців, О.М. Шабаров, Є.І. Шем'якін, В.М. Шик, О. Якобі, Д.В. Яковлєв та ін. Визначальними параметрами покрівлі, що важко обрушується, що впливають на просторове становище та величину енергії деформування порід та вугільного пласта, є потужність та крок обрушення. Внаслідок впливу вугільних ціликів, що залишаються при відпрацюванні короткими вибоями, характер обвалення порід покрівлі істотно відрізняється від виявленого при довгими комплексно-механізованими вибоями.

Метою роботи є геомеханічне обґрунтування параметрів системи розробки короткими вибоями схильних до гірських ударів потужних вугільних пластів для відпрацювання їх в умовах, нерегламентованих чинними нормативними документами.

Об'єкт досліджень – система розробки короткими вибоями схильного до гірських ударів потужного вугільного пласта, що залягає на великій глибині.

Предмет дослідження – закономірності зміни напруженого стану масиву гірських порід при відпрацюванні короткими вибоями схильних до гірських ударів потужних вугільних пластів.

Основна ідея роботи полягає у використанні методів чисельного моделювання та геофізичних досліджень для геомеханічного обґрунтування параметрів коротковибійної технології відпрацювання схильних до гірськими ударами потужних вугільних пластів.

Завдання дослідження:

- розробити метод прогнозу потенційної ударонебезпеки вугільного пласта, що відпрацьовується короткими вибоями, з урахуванням реальної гірничотехнічної ситуації;

- виявити закономірності зміни напруженого стану масиву гірських порід при камерно-стовповій та камерній системах розробки схильних до гірських ударів потужних вугільних пластів;

- виконати геомеханічне обґрунтування параметрів систем розробки короткими вибоями схильних до гірських ударів потужних вугільних пластів.

Методи досліджень: чисельне моделювання напруженого стану масиву гірських порід; геофізичні дослідження ударонебезпеки вугільного пласта, виробничий експеримент відпрацювання короткими вибоями потужного шару.

Наукова новизна роботи полягає:

- в обґрунтуванні методу прогнозу динамічних явищ у вугільному пласті з використанням комплексного показника ударонебезпеки та формуванням на його основі критеріїв для оцінки напруженого стану масиву гірських порід, визначення ширини ціликів та камер з урахуванням розмірів зон розвантаження у породах покрівлі;

- виявленні закономірностей зміни напруженого стану масиву гірських порід при камерно-стовповій та камерній системах розробки, використання яких забезпечує вибір варіанта відпрацювання ударонебезпечного пласта в умовах, нерегламентованих нормативними документами;
- геомеханічне обґрунтування параметрів систем розробки короткими вибоями потужних ударонебезпечних пластів з урахуванням типу та конструкції кріплення, форми та розмірів виїмкових ділянок, стійкості порід покрівлі в камерах та на поєднанні виробок.

Наукове значення роботи полягає в геомеханічному обґрунтуванні параметрів камерної системи розробки в порівнянні з камерно-стовповою: раціональних розмірів виїмкових блоків, міжблокових, міжкамерних ціликів та камер для безпечного відпрацювання схильних до гірських ударів потужних пластів.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 110 сторінок.

1. АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ДОСВІДУ І НАПРЯМКІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЕОМЕХАНІЧНОГО ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ РОЗРОБКИ КОРОТКИМИ ЗАБОЯМИ СКЛОННИХ ДО ГІРНИХ УДАРУ

Встановлено, що основні параметри систем розробки залежать від результатів взаємодії технологічних та геомеханічних процесів, тому пропонується на основі досягнень гірської та суміжних наук у галузі розвитку способів та засобів управління пружною енергією геомасиву створення системи геомеханічного обґрунтування параметрів технології розробки короткими вибоями схильних до газодинамічних явищ потужних пологих вугільних пластів.

Аналіз виробничого досвіду управління геомеханічними процесами при відпрацюванні ударонебезпечних вугільних пластів короткими вибоями

За результатами аналізу запасів вугілля на вугільних шахтах встановлено, що у надрах до глибини 600 м сконцентровано 218,5 млрд. т вугілля.

У гірничій практиці прийнято всі балансові запаси ділити на три групи: високотехнологічні, технологічні та низькотехнологічні.

Відпрацювання високотехнологічних запасів підземним способом здійснюється, як правило, системами розробки з довгими стовпами повним обваленням порід покрівлі з простягання з виїмкою вугілля в лавах, оснащених засобами комплексної механізації (88 % від загального обсягу видобутку). Монопольне застосування системи розробки при довжині виїмкових стовпів до 4 км і лави до 400 м призвело до вибіркового відпрацювання ділянок вугільних пластів з кутом падіння до 15 градусів, потужністю 1,7-4,0 м, різкого скорочення розвіданих балансових запасів вугілля надрах.

Значна частина низькотехнологічних запасів корисних копалин у межах гірських відводів діючих шахт до 23% законсервована через

відсутність ефективної та безпечної технології відпрацювання потужних вугільних пластів, схильних до газодинамічних явищ, самозаймання, у зонах геологічних порушень, під затопленими водою виробленими просторами верхніх пластів свити та ін. Високі ризики виникнення небезпечних виробничих ситуацій при відпрацюванні низькотехнологічних залишкових запасів підтверджуються гірськими ударами та раптовими викидами вугілля та газу в Кузбасі.

На першому етапі досліджень проведено аналіз ефективності відпрацювання схильних до гірських ударів вугільних пластів системою розробки довгими стовпами та встановлено таке:

1) Запаси вугільних пластів, схильних до газодинамічних явищ, на діючих шахтах віднесені до балансових і розробляються, здебільшого, довгими комплексно-механізованими вибоями, незважаючи на підвищений ризик виникнення небезпечних виробничих ситуацій.

2) Комплекс профілактичних заходів, регламентованих чинними нормативними документами, що не виключає повністю ймовірність виникнення гірського удару, тому що не розкрито з достатньою для практики точністю механізм формування концентраторів пружної енергії в геомасиві при сукупному впливі природних та техногенних факторів.

3) Для виявлення причин виникнення та характеру прояву гірських ударів на вугільних шахтах Росії застосовується гіпотеза ударів тиску у вугільному пласті і майже не враховується непрямий вплив гірських ударів покрівлі, відомих із практики роботи зарубіжних шахт.

4) Чинні в Росії нормативні документи та результати досліджень не завжди враховують сукупний вплив на характер прояви гірських ударів наступних факторів: наявність у геотектонічних районах горизонтальних напруг, що перевищують вертикальні; пучення або розломи порід ґрунту; негативний вплив на стан геомасиву передових виробок, у тому числі демонтажних камер; стійкість у зоні впливу зависаючих підроблених порід покрівлі системи паралельних підготовчих виробок, що охороняються

вугільними ціликами різної ширини, при високій ймовірності раптового масового їх руйнування.

5) Незважаючи на проведення комплексу протиударних заходів інтенсивність прояву газодинамічних явищ залишається високою. За даним ефективність протиударних заходів не перевищує 50%.

Виявлення особливостей прояву газодинамічних явищ при підземній розробки короткими вибоями схильних до гірських ударів вугільних пластів

Для геомеханічного забезпечення коротковибійних систем підземної розробки схильних до гірських ударів потужних вугільних пластів, а також досвід управління геомеханічними процесами при відпрацюванні вугільних пластів довгими вибоями, проведено узагальнення варіантів коротковибійних систем розробки, апробованих цих пластах.

Встановлено, що одним із індикаторів, характерних для високої ймовірності виникнення гірського удару, що є важкообрушеною покрівля. Дослідженню впливу цього фактора присвячені роботи відомих вчених та практиків: В.Б. Артем'єв, Г. Браунер, Ф.П. Бублик, В.А., Гоголін, Ю.В. Громов, В.П. Дудукалов, В.В. Дірдін, П.В. Єгоров, Ф.П. Івченко, С.І. Калінін, Г.І. Коршунов, Т.І. Лазаревич, А.А. Лінків, Л.Д. Павлова, А.І. Петров, І.М. Петухов, А.А. Ренєв, М.А. Розенбаум, В.М., Серяков, В.А. Хмяляйнен, О.А. Хачай, Х.В. Хувє, Н.В. Черданців, С.В., Черданців, О.М. Шабаров, Є.І. Шем'якін, В.М. Шик, О. Якобі, Д.В. Яковлєв та ін.

Визначальними параметрами покрівлі, що важко обрушується, що впливають на просторове становище та величину енергії деформування порід та вугільного пласта, є потужність та крок обрушення. Внаслідок впливу вугільних ціликів, що залишаються при відпрацюванні короткими вибоями, характер обвалення порід покрівлі істотно відрізняється від виявленого при довгими комплексно-механізованими вибоями.

Системи розробки вугільних родовищ короткими вибоями широко застосовувалися на ранніх стадіях розвитку вугільної промисловості. Коротким є очисний вибій завдовжки більше 15 м, як вироблення,

обмежене з боків вугільним масивом або цілком вугілля. У період 1950 - 2000 р.р. на шахтах Росії, України та Казахстану інтенсивно розвивалися системи розробки з короткими вибоями на гідрошахтах. Короткозабійні системи використовувалися при відпрацювання залишкових запасів вугілля на ділянках, що мають форму та розміри, нетехнологічні для довгих комплексно-механізованих вибоїв на діючих шахтах. Найбільш поширений варіант камерно-стовпової системи розробки, застосовується на гідрошахтах.

Наприкінці минулого століття обсяг видобутку вугілля в коротких вибоях гідрошахти скоротився. Однією з основних причин різкого обмеження області застосування коротких очисних вибоїв стали відсутність способів та засобів запобігання газодинамічних явищ при відпрацюванні вугільних пластів з покрівлями, що важко обрешуються, на глибині понад 200 м, у тому числі у сейсмічно активних районах.

Для розробки нових способів та засобів відпрацювання короткими вибоями схильних до гірських ударів вугільних пластів із важкообрешеними покрівлями, що залягають на глибині понад 200 м, було проведено аналіз виробничого досвіду відпрацювання вугільних пластів короткими вибоями.

Виявлено такі основні фактори, що впливають на інтенсивність гірських ударів при відпрацюванні вугільних пластів камерностовповою системою розробки:

- уступна форма меж коротких очисних вибоїв, що виступають крайових ділянках пластів яких за рахунок накладання ваги суміжних плит та консолей підроблених порід покрівлі виникають концентрації напруг, перевищують межу пружності вугільного пласта;

- наявність вугільних ціликів на відпрацьованому та сусідніх пластах свити, що призводить до виникнення локальних концентраторів потенційної енергії пружного стиснення у пласті, що відпрацьовується;

– покрівля вугільних пластів, що важко обрушується, здатна накопичувати потенційну енергію з переходом у певній ситуації в кінетичну і руйнувати вугільний пласт у формі гірського удару (гірські удари покрівлі). Імпульс руйнування порід покрівлі може одночасно поширюватися на велику область, у тому числі на сусідніх пластах та виїмкових ділянках, що призводить до «ефекту доміно» з масовим руйнуванням ціликів та крайових ділянок вугільних пластів, особливо на поєднання виробок;

– нерівномірний розподіл горизонтальних напруг у незайманому геомасиву та перевищення їх за деякими напрямками в 2-3 рази вертикальних гравітаційних сил, що призводить до різної ймовірності виникнення гірських ударів у стрічкових ціликах, орієнтованих щодо вектора головних горизонтальних напруг у просторі гірничих відводів шахт;

– наявність у незайманому геомасиві полів нерівномірних геотектонічних напруг, величина та напрямки векторів яких пов'язані з блоковою структурою та активними розломами земної кори.

Таким чином, результати аналізу виробничого досвіду підземної розробки схильних до гірських ударів тонких та середньої потужності вугільних пластів короткими очисними вибоями підтверджують, що в сприятливі гірничо-геологічні умови з дотриманням профілактичних заходів та оперативного моніторингу можлива безпечне та ефективне відпрацювання вугільних пластів. Однак, для геомеханічного забезпечення високоінтенсивних технологій відпрацювання схильних до гірських ударів вугільних пластів короткими вибоями, в умовах, не регламентованих чинними нормативними документами, необхідно проведення додаткових досліджень.

Аналіз напрямів наукових досліджень геомеханічного обґрунтування коротковибійних систем підземної розробки схильних до гірських ударів вугільних пластів

Наукові дослідження, спрямовані на розробку технології відпрацювання схильних до гірських ударів потужних вугільних пластів, а також заходів, що забезпечують приведення вугільних пластів у позаударонебезпечний стан, що здійснюються протягом останніх 80 років після зазначених у 40 роки минулого століття динамічних форм прояву гірничого тиску. На шахтах та рудниках Індії, ПАР, США, Канади ці явища зафіксовано понад 100 років тому. Серйозні дослідження природи гірських ударів почалися після того, коли виникли катастрофічні явища на шахтах Кизеловського, Донецького, Сучанського, Кузнецького басейнів.

Основні напрямки досліджень процесів формування пружною енергії та миттєвого її вивільнення у вигляді швидкоплинного руйнування частини гірського масиву були обґрунтовані у УНІМІ та інтенсивно проводилися багатьма вченими та практиками.

Основні результати досліджень такі:

1) Імовірність виникнення гірського удару підвищується за зміни наступних факторів та параметрів: збільшення глибини розробки, наявність у породах покрівлі та ґрунту потужних міцних порід пісковиків, схильності вугілля в крайовій частині пласта до крихкої руйнації, відсутність у безпосередній покрівлі слабких пластичних породних шарів, нерівномірне геотектонічне поле напруги.

2) Основними індикаторами схильності вугільних пластів до гірських ударам є коефіцієнти ударонебезпечності та інтенсивності руйнування вугільного пласта. Коефіцієнт ударонебезпеки визначається стосовно пружної деформації до повної на висхідній дограничній лінії діаграми напруга-деформація, що отримується при натурних випробуваннях крайової частини пласта, а коефіцієнт інтенсивності руйнування як – відношення площі пружного деформування до повної на позамежній ділянці діаграми.

3) Імовірність одночасного прояву на деяких вугільних пластах гірських ударів та раптових викидів вугілля та газу при певних поєднаннях

фазово-фізичних властивостей вугілля. Ці результати досліджень внесено до чинних нормативних актів.

В даний час управління процесами періодичного обвалення порід покрівлі суміжних виїмкових ділянок при відпрацюванні свити вугільних пластів довгими комплексно-механізованими вибоями майже не проводиться, тому що відсутні надійні методи прогнозу локальних концентраторів пружної енергії. Тому за рекомендаціями нормативних документів здійснюється реалізація профілактичних заходів для зниження концентрації потенційної пружної енергії деформування в межах всього відпрацьованого виїмкового стовпа. Для зниження концентрації потенційною пружністю енергії деформування порід застосовуються наступні заходи та технологічні рішення:

- обмеження швидкості подвигу вибоїв для релаксації напруг та дисипації потенційної пружної енергії;
- спрямований гідророзрив;
- гідродинамічна стратифікація;
- передове торпедування;
- камуфлетне підривання;
- гідромікроторпедування;
- вибухогідрообробка;
- гідророзпушування;
- примусове обвалення підриванням свердловинних та шпурових зарядів основної покрівлі при зависанні її великих площах;
- закладка виробленого простору породами;
- зміна ширини вугільних ціликів;
- скорочення кількості підготовчих виробок попереду очисних вибоїв;
- зміна послідовності відпрацювання пластів у свиті та ін.

Проте, реалізація цих заходів та технологічних рішень призводить не тільки до зростання виробничих витрат та ймовірності виникнення

небезпечної виробничої ситуації під час проведення заходів, а також зниження продуктивності очисних та підготовчих вибоїв у 1,5 - 2,0 рази.

Слід виділити у рамках багатофункціональної системи безпеки наступний перелік основних регіональних, локальних та комбінованих протиударних профілактичних та організаційних заходів при відпрацюванні схильних до гірських ударів вугільних пластів, в тому числі потужних:

- геодинамічне районування в межах гірничого відводу вугледобувного підприємства;
- прогноз ударонебезпеки шахтних полів та ділянок вугільних пластів;
- моніторинг ефективності протиударних заходів;
- приведення ділянок вуглепородного масиву та гірничих виробок у неударонебезпечний стан;
- забезпечення безпеки робіт при проведенні протиударних заходів.

Зазначені профілактичні та організаційні заходи вносяться в проектну документацію та реалізуються в процесі ведення гірничих робіт. Досвід застосування цих заходів підтверджує, що хоча вони відповідають вимогам Інструкції, однак не завжди є ефективними, а іноді виявляються надмірними. Прогноз гірських ударів не перевищує 50%. Це підтверджується практикою ведення гірничих робіт та результатами успішного чи неефективного застосування профілактичних заходів.

Наприклад, застосування методу оперативного моніторингу та прогнозу геомеханічного стану очисного вибою вугільної шахти з використанням системи управління Марко «Цифрова шахта» не завжди підтверджує відповідність прогнозованих провісників гірських ударів реальну статистику газодинамічних явищ у виїмковій ділянці.

Аналіз графіків розподілу провісників гірських ударів за динамікою конвергенції секцій кріплення показав, що найбільш імовірною причиною підвищення концентрації напруг у вугільному пласті попереду очисного

вибою є вага підроблених в очисному вибої породних шарів при періодичному їхньому зависанні перед черговим циклом обвалення.

Для профілактики проявів гірських ударів у підготовчих вибоях проводяться такі спеціальні заходи: моніторинг напружено-деформованого стану вугільного масиву сейсмічними методами або вибурюванням вугільної дрібниці, розвантаження вуглепородного масиву щілинами або свердловинами, нагнітання рідини в пласт та ін. Пропонується ефективність розвантажувальних щілин оцінювати за результатів чисельного моделювання шляхом кінцевих елементів.

Оригінальний варіант методики прогнозу ситуацій, небезпечних за прояву гірських ударів, запропонований на роботах. Сутність методики полягає у створенні та реалізації комп'ютерної програми, якої на основі статистичних вихідних даних здійснюється прогноз ймовірності виникнення гірського удару. Як вихідні дані використовуються показники, що характеризують властивості гірських порід, напружено-деформований стан геомасиву, технологічні параметри. За результатами прогнозу інтенсивності газодинамічних явищ здійснюється класифікація та районування виїмкових ділянок та шахтних полів. Проте реалізації методики потрібно великий обсяг статистичного матеріалу.

Ефективність застосування методик залежить від достовірності вихідної інформації. Оцінка достовірності ширини пластичної зони, коефіцієнта концентрації вертикальних напруг, відстані до максимуму епюри опорного гірського тиску в крайовій частині вугільного пласта в даний час представляє певні методичні та технічні складності, так як ці параметри в реальних умовах змінюються залежно від міцнісних та деформаційних властивостей вугілля, порід та технологічних процесів.

Проте методичний підхід оцінки ймовірності та ризиків виникнення газодинамічних явищ можна використовувати при експертному прогнозі, наприклад, методами ситуаційного імпульсного когнітивного моделювання.

Можливість використання виробничого досвіду відпрацювання пластів довгими комплексно-механізованими вибоями та отриманих результатів теоретичних досліджень для відпрацювання короткими вибоями схильних до гірських ударів потужних пластів, обмежено багатьма вимогами Інструкції, у тому числі:

- забороняється застосування камерної та камерно-стовпової систем розробок;
- ширина цілика між паралельними виробками має бути більше 0,5l де l – ширина зони опорного тиску;
- забороняється відпрацювання виїмкових панелей або блоків зустрічними або наздоганяючими вибоями;

У результатах наукових досліджень, виконаних під керівництвом Ф.П. Бубліка, встановлені залежності параметрів систем розробки з короткими вибоями від основних гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов. Зокрема, запропоновано застосування камерно-стовпової системи розробки з бар'єрними ціликами або стрічковими ціликами.

У 90-ті роки минулого століття почалися інтенсивні дослідження впливу горизонтальних напруг, що перевищують вертикальні, на стійкість порід на околиці очисних і підготовчих виробок почалися. Необхідність таких досліджень виникла у процесі роботи комісій з розслідування великих аварій на вугільних шахтах. В більшості випадків комісії не виявили порушення вимог нормативних документів та вказали основною причиною аварії вплив природного чи людського факторів.

Наслідком впливу природних факторів на вугільних шахтах є раптові обвалення підроблених гірських порід на великих площах, масове руйнування вугільних ціликів («колапс»), порушення стійкості блокової структури геомасиву та прорив флюїдів кордонам блоків та лінеаментів при відпрацюванні свити вугільних пластів та ін.

Відсутність надійних методів прогнозу вказаних явищ підтверджують недостатню вивченість фізичних закономірностей взаємодії природних та техногенних полів напруг у геомасиві.

Багато авторів як основна причина гірських ударів розглядають геодинамічний стан вуглепородного масиву. У роботах відзначається істотний вплив природних напруг у блочному геомасиві на формування вогнищ потенційної пружної енергії деформування як при повільних геотектонічних явищах, так і при техногенний вплив на масив гірських порід.

Відповідно до результатів досліджень характер прояву динамічних явищ залежить від взаємного впливу багатьох факторів, серед яких основними є процеси накопичення потенційної енергії та швидкості її скидання. Після скидання енергії геомасив повертається до початкового стану, тобто доведено наявність у природі циклічного хвилеподібного характеру підготовки та прояви гірських ударів. Встановлено, що за підземної розробки рудних родовищ процес накопичення пружною енергії може тривати кілька років.

Відповідно до результатів теоретичних досліджень та чисельного моделювання кінематичної моделі приливного деформування та розподілу енергії в сипучому блочному середовищі околиці вироблення еліптичної форми автори роботи стверджують, що приливні потоки енергії призводять до деформування порід. На основі цієї закономірності можна прогнозувати перерозподіл пружної енергії в геомасиві при формуванні концентраторів пружної енергії як провісника гірського удару.

За результатами багаторічних натурних та аналітичних досліджень процесів накопичення пружної потенційної енергії та раптового переходу її в кінетичну виявлено загальні причини виникнення гірських ударів та раптових викидів вугілля та породи. Це підтверджується результатами аналізу наслідків газодинамічних явищ та розслідування причин великих аварій на вітчизняних та зарубіжних вугільних шахтах.

У процесі досліджень причин виникнення гірських ударів виявляються нові закономірності формування концентраторів напруги. Наприклад, у роботах В.П. Дудукалова, В.М. Серякова доведено, що реологічні процеси деформування надроблюваних порід призводять до прогресуючого збільшення опорного гірничого тиску.

Оскільки реологічні процеси у гірському масиві відбуваються за часом повільно, то накопичення потенційної енергії та її перетворення на кінетичну відбувається раптово, особливо при циклічному переміщенні лінії очисного вибою.

Для виявлення впливу пружної енергії у геодинамічному полі напруг на напружено-деформований стан геомасиву околиці коротких вибоїв необхідно проведення додаткових досліджень, що становить одне з наукових завдань у цій роботі.

У зв'язку з широким застосуванням анкерного кріплення на вугільних шахтах заслуговують на увагу дослідження геомеханічного стану вугільних пластів і порід, що вміщують в околиці камер і коротких очисних вибоїв, закріплених анкерами. Для цього необхідно провести комплексні дослідження прояву гірського тиску та ударонебезпеки в виробленнях, закріплених анкерним кріпленням, на пластах, схильних до гірських ударів, за умов шахт вугільного басейну. Метою цих досліджень є оцінка в натурних умовах та за результатами розрахунку впливу анкерного кріплення на зміну ударонебезпечності вугільного масиву, а також оцінка стану виробок, пройдених на потужних пластах, небезпечних по гірських ударах та закріплених анкерним кріпленням.

2. РОЗРОБКА МЕТОДУ ПРОГНОЗУ ПОТЕНЦІЙНОЇ УДАРОБЕЗПЕКИ ВІДРОБНОГО ВУГІЛЬНОГО ПЛАСТА ДЛЯ ОЦІНКИ НАПРУЖНОГО СТАНУ ВУГЛЮ В МІЖКАМІРНИХ ЦЕЛИКАХ І КРАЄВИХ ДІЛЬНИЦЯХ ПОТУЖНОГО ПЛАСТА

Розроблено метод кількісної оцінки параметрів коротковибійної технології відпрацювання вугільного пласта з використанням комплексного показника ударонебезпеки. За результатами обчислювальних та шахтних експериментів обґрунтовано критерії кількісної оцінки напруженого та ударонебезпечного стану вугільного шару. За результатами досліджень визначаються такі параметри напруженого стану масиву гірських порід: повний вектор напруг, комплексний показник ударонебезпеки, розміри зон розвантаження та категорії небезпеки по гірничих ударах вугілля в боках штреків та виїмкових камер.

Розробка методу кількісної оцінки напруженого та ударонебезпечного стану масиву гірських порід при відпрацюванні схильного до гірських ударів потужного вугільного пласта короткими вибоями

Для виявлення закономірностей розподілу параметрів напруженого стану масиву гірських порід при відпрацюванні потужних пологих вугільних пластів короткими вибоями проведено обчислювальні експерименти із застосуванням пакету проблемно-орієнтованих програм, адаптованого до гірничо-геологічних умов залягання потужних пологих пластів та просторовому розташування камер та вугільних ціликів.

Пакет проблемно-орієнтованих програм, реалізований на основі методу кінцевих елементів, що забезпечує вирішення наступних завдань у дво- або тривимірній постановці:

- розрахунок параметрів напружено-деформованого стану вуглепородного масиву в околиці системи взаємовпливових камер,

вугільних ціликів і західок: вертикальні та горизонтальні зсуви, деформації, напруги, коефіцієнти концентрації напруг, комплексний параметр ударнебезпеки в плоскому вертикальному перерізі по довжині виїмкової ділянки;

– визначення зон розподілу концентраторів вертикальних напруг у вугільному пласті, що відпрацьовується, з урахуванням просторового розташування підготовчих та очисних виробок. В алгоритм розрахунку закладено метод функції одиничного впливу гравітаційних сил на вугільний пласт.

Узагальнена структура пакета програм, адаптованого до умов відпрацювання короткими вибоями схильного до гірських ударів потужного вугільного пласту.

Слід зазначити, що чисельне моделювання дозволяє отримати більш детальний розподіл напруг. Можна визначити вертикальні та горизонтальні напруги, комплексний показник ударнебезпеки вугілля в кожному цілику або крайової частини пласта з урахуванням просторово-часового розташування очисних та підготовчих виробок.

На основі проведеного аналізу відповідності розрахункових та вимірних у шахтних умовах параметрів напруженого стану масиву гірських порід розроблені структура методики та програма досліджень напруженого стану масиву гірських порід при відпрацюванні схильних до гірськими ударами потужних вугільних пластів.

Основна концепція створення та реалізації методики геомеханічного забезпечення полягає в циклічному повторенні наступних операцій:

- прогнозування за результатами моделювання в межах відпрацьованого та сусідніх виїмкових ділянок просторового положення зон із підвищеною концентрацією напруг;
- проведення точкового моніторингу в зонах з підвищеною концентрацією напруг;

- оцінка відповідності обчислених та вимірних параметрів напруженого стану масиву гірських порід;
- розробка та реалізація протиударних заходів;
- відпрацювання вугільного пласта.

Після кожного етапу для прийняття рішення з геомеханічного забезпечення обов'язковими процесами є чисельне моделювання та точковий моніторинг напруженого стану масиву гірських порід.

Застосування точкового моніторингу дозволяє суттєво знизити матеріальні та трудові витрати та скоротити час простоїв очисних та підготовчих вибоїв у період проведення протиударних заходів.

Висновки

За результатами розроблення методики кількісного прогнозування геомеханічних процесів при відпрацюванні схильних до гірських ударів потужних вугільних пластів обґрунтовано такі висновки:

1) Основними параметрами, що визначають напружений стан масиву гірських порід при відпрацюванні схильного до гірських ударів потужного пласта, є: повний вектор напруг, комплексний показник ударонебезпеки вугілля та порід, межі перехідних зон стану вугілля в боках штреків та виїмкових камер, просторове положення концентраторів пружних напруг.

2) Результати точкових шахтних досліджень геомеханічних процесів з використанням регламентованих чинними методичними документами способів та засобів, є достатніми для налаштування вхідних параметрів математичної моделі геомеханічних процесів. Як вихідні дані рекомендується використовувати результати вимірювання на околиці виробок зсувів за контурними та глибинними реперами, визначення геофізичними методами розмірів зон тріщинуватості масиву гірських порід, виходу бурової дрібниці під час буріння шпурів.

3) Обґрунтовано критерії оцінки напруженого та ударонебезпечного стану вугільного пласта на основі комплексного показника ударонебезпеки.

Під час проведення обчислювальних експериментів задавалися наступні граничні умови: горизонтальні зсуви на лівій та правій межах розрахункової області рівні нулю, на нижній межі вертикальні зсуви рівні нулю; вага гірських порід розподіляється за кінцевими елементами по гравітаційному закону; бічне тиск враховується за теорією Динника з врахуванням коефіцієнта бічного тиску.

Для налаштування вхідних параметрів розрахункової моделі використовувалися наступні результати точкових шахтних вимірів:

- ширина зони віджиму вугілля з боків виробок;
- конвергенція порід покрівлі та ґрунту;
- усунення глибинних реперів у покрівлі виробок;
- ширина зони тріщинуватості (передруйнування), яка визначалася згідно з методикою УНІМІ за графіками зміни параметра F імпульсного електромагнітного випромінювання масиву гірських порід.

Виміряні в шахтних умовах величини зсувів вводилися в розрахункову модель у вигляді опорних точок у відповідних кінцевих елементи. Ширина зон віджимання та тріщинуватості враховувалася в процесі послідовних ітераційних рішень у вигляді зміни комплексного показника ударонебезпечності вугілля та порід K_u в межах 0,5 – 1,0.

Ітераційний процес припинявся при відхиленні виміряних та обчислених розмірів зон не більше $\pm 0,5$ м.

Дослідження проведено поетапно:

1 етап – виявлення закономірностей розподілу параметрів напруженого стану масиву гірських порід на околиці одиночної камери при шаровій виїмці пласта;

2 етап – виявлення закономірностей розподілу параметрів напруженого стану масиву гірських порід на околиці одиночної камери під час розширення її зворотним ходом заходками;

3 етап – виявлення закономірностей розподілу параметрів напруженого стану масиву гірських порід на околиці кількох камер у межах блоку.

3. ЗАДАЧІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГНОЗУ РОЗВИТКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ ГІРНИЧОГО МАСИВУ

Підземні виробки, небезпечні щодо газу, дуже надійно захищені програмно-технічними засобами фіксування небезпечної концентрації газу, що входять до складу шахтної системи автоматичного газового контролю (АГК).

Але, як відомо, за рідкісним винятком, система АГК до перших проявів самого вибуху сигналів небезпеки не фіксує і передає каналами зв'язку.

Як правило, на такому «спокійному» фоні і відбувається викид вугілля та газу (вугільно-повітряно-пилової суміші) та вибух. Причин тому може бути безліч, але основні з них зумовлені нерозривністю геомеханічних та газодинамічних процесів, що розвиваються у зоні впливу гірничотехнічних робіт. На думку фахівців, основним фактором небезпечного розвитку цих процесів є відсутність професійного геологічного вивчення тектоногенетичних процесів, заснованого на сучасних методичних і інструментальних засобах оцінки структури та параметрів напруженого стану гірського масиву попереду вибою вироблення.

У 1952 р. академіком А. А. Скочинським було зазначено: «Газ, гірський тиск та фізико-механічні властивості – такі три фактори, що сукупно зумовлюють схильність пластів вугілля до раптових викидів». Тим самим для надійного контролю рівня газової та газодинамічної небезпеки при веденні гірничих робіт необхідний облік (моніторинг) всіх трьох визначальних факторів. Слід зазначити, що згадані чинники взаємопов'язані.

Серія важких аварій на вугільних шахтах визначає зусилля щодо прийняття «кардинальних кроків щодо зміни стратегії контролю безпеки

вугільних шахт. На даний момент законодавчо закріплені нові вимоги до створення сучасних багатофункціональних систем безпеки вугільних шахт.

В цілому, розробка газоносних вугільних родовищ пов'язана з ризиком динамічної реалізації їхньої газової компоненти в систему існуючих гірничих виробок. Допустимим рівнем ризику прийнято вважати підтримання концентрації метану в рудничній атмосфері істотно нижчою за критичні значень за умов вибуховості. Однак динаміка структури та параметрів напруженого стану гірського масиву властивостей надають настільки істотний вплив на динаміку надходження метану у вироблення, що технологічна реакція на підвищення концентрації газу нерідко фатально запізнюється.

Процес провітрювання гірських виробок вугільних шахт передбачає, як правило, кілька джерел, які визначають їх аерологічне стан. При цьому в будь-який конкретний момент часу, в будь-якій фіксованій точці вироблення відомий набір цих джерел та їх участь у визначенні основних параметрів, що досить успішно здійснюється стандартними методами системи аерогазового контролю. По долі впливу всіх реальних джерел, що визначають рівень концентрації газу метану у виробках шахт, вони можуть бути класифіковані на дві категорії:

а) апріорі прогнозовані за одним або декількома газовими факторами; б) прогнозовані з урахуванням негазових характеристик, які, своєю чергою, можуть підрозділятися на: 1) безпосередньо які залежать від технології ведення гірських робіт і 2) що залежать від тектонічного та техногенного впливу на вугільний пласт, що викликають зміну його напруженого стану. Виходячи із сказаного, загальне завдання прогнозу аерогазового стану в різних точках гірничих виробок зводиться до завдань визначення та розрахунку реальної (фактичної) метанорясності в поточний момент часу та обґрунтовано передбачуваного та доведеного, поточного значення метановисності у ближній до вироблення зоні гірського масиву.

При цьому всі розрахункові функції повинні бути невід'ємною частиною єдиної шахтної багатофункціональної системи безпеки (ШБФСБ).

Однією з найбільш фундаментальних основ ШБФСБ є проблема розробки ефективних програмно-технічних засобів контролю безпечного стану стійкості гірничого масиву за компонентами аерогазового стану шахтної атмосфери та прогнозу раптових викидів та гірських ударів. При цьому відомо, що завдання прогнозу місця та енергії розвитку сейсмічних та інших динамічних процесів потребує залучення значних технологічних, методичних та наукових зусиль. Процеси техногенного впливу на гірський масив формують зони аномальної напруги розвитком в них деформацій різної інтенсивності на відстані від кількох десятків до сотень метрів від виробітку. При цьому слід визначати контури зони впливу як область деформацій пластичного і пружного типів, що призводять до значної перебудови структури газової проникності масиву гірських порід. Відповідно, всередині контуру цієї зони формуються, як мінімум, дві динамічні області проникності, перша з яких примикає безпосередньо до оголення виробітку (контактна область), а друга – далеко від неї на не прогнозований розрахунковими методами відстані. В цій зоні межа переходу пружних деформацій у пластичні вкрай нестійкому стані, що може призводити до розвитку небезпечних ситуацій – різким (імпульсним) підвищенням метанообильності, викидам вугілля, породи в забій тощо небезпечним динамічним явищам.

На даний момент усі запропоновані методики визначення небезпечних концентрацій газу метану у виробленні припускають контроль метаноряби контактної області, у зв'язку з чим повною мірою не вирішується проблема прогнозу можливого розвитку деформаційних процесів і, отже, газової проникності у другій області. Іншими словами, з наукового погляду потрібен прогноз як імовірнісне науково-обґрунтоване судження про майбутнє стан будь-якого явища або об'єкта безпеки.

По суті, згадані в ПБ регламентовані методи та засоби контролю параметрів НДС та газового стану шахтної атмосфери фіксують поточні значення названих параметрів без оцінки детермінованих зв'язків між ними, що визначають рівні небезпеки можливих сценаріїв настання небезпечних динамічних процесів. Формування та мінливість параметрів НДС гірничого масиву в реальних умовах будівництва підземних споруд визначається суперпозицією природних гравітаційних та геодинамічних полів у сукупності з процесами техногенної трансформації підземного простору. У такій динамічній природно-технічній системі (далі – ПТС) розвиток багатьох інженерно-геологічних процесів відбувається за неочевидним сценарієм.

З цих причин достовірність прогнозу структури та параметрів НДС на безпечному віддаленні від оголення масиву можлива лише із застосуванням сучасних сейсмічних технологій, що визначає, у тому числі, зміна газової проникності в зоні взаємовпливу масиву з підземним виробленням, і саме ці параметри можуть бути покладені в основу функціонального переходу до регламентних оцінок рівнів ризику настання небезпечних геогазодинамічних явищ (ГДЯ).

Представлені в цій роботі дослідження присвячені обґрунтуванню, теорії, методології та практиці вирішення низки основних питань впливу поточної метаноносності вугільного пласта і порід, що вміщують, з урахуванням їх напружено-деформованого стану з метою підвищення об'єктивності випереджаючого прогнозу метанообильності для досягнення основної мети - аерологічної безпеки у місцях ведення очисних чи підготовчих робіт.

При цьому як постулат прийнято тривіальне положення: нормальний робочий аерогазовий режим у виробленні відповідає міжзональним станам гірського масиву з точки зору наявності та розвитку в ньому зон дезінтеграції – областей значної тріщинуватості – відповідно до просторового розподілу та перерозподілу компонентів напруг. Суттєва

зміна метанообильності визначає розвиток двох можливих режимів газового стану шахтної атмосфери – або «сплески» концентрації метану до неприпустимих з погляду аварійності значень, або різке зниження концентрації, якщо зона дезінтеграції не містить газу. Який із цих двох режимів найбільш імовірний у конкретній ситуації, можна встановити за трендом зміни концентрації метану в процесі наближення забою до названих зон. Підкреслимо – становище цих зон має бути заздалегідь відоме на досить віддаленій дистанції від виробітку, що і є проблемою, яку в умовах вугільних шахт пропонується вирішувати на основі відомих і добре себе зарекомендували сейсмічних технологій моніторингу процесів проходки транспортних тунелів.

Поточні ринкові умови змушують вугільну промисловість переходити на високоінтенсивні технології вилучення вугілля, які можуть бути досягнуті за рахунок автоматизації виробничих процесів вуглевидобутку та збільшення продуктивності видобувних ділянок. Використання високоінтенсивних технологій виїмки вугілля та суттєве збільшення навантажень на очисний вибій вимагають гнучкого управління силовими характеристиками механізованих кріплень відповідно до змінних у межах виїмкових полів та блоків гірничо-геологічними та гірничотехнічними умовами, а також характером зміни напружено-деформованого стану вуглепородного масиву на околиці очисного вибою з урахуванням його циклічного руху. Це дозволяє, у свою чергу, оптимізувати енергетичні витрати, знижувати у багатьох випадках, собівартість видобутого вугілля, продовжувати термін служби механізованих кріплень, запобігати можливості виникнення надзвичайних ситуацій.

Однією із проблем, що знижують ефективність впровадження перерахованих заходів, є відсутність попереднього прогнозу геомеханічного стану гірського масиву у ближній та дальній зонах впливу прохідницьких чи очисних робіт. У зв'язку з тим, що протікання

геомеханічних процесів у вуглепородному масиві під час гірських робіт супроводжується розвитком ГДЯ різного типу, необхідний системний підхід до аналізу взаємозумовлених різнорідних чинників, які впливають стан вуглепородного масиву. Такий аналіз неможливо без використання сучасних інформаційних технологій (і, особливо, геофізичних методів) реєстрації, обробки та інтегрованого аналізу фізичних параметрів стану гірничого масиву з метою своєчасного прогнозу розвитку небезпечних ГДЯ.

Стан спеціалізованого геоінформаційного забезпечення безпеки гірничого виробництва у вугільних шахтах

Активне впровадження та розвиток геоінформаційних програмно-технічних систем визначається необхідністю досягнення оптимального співвідношення «видобуток/безпека». На вугільних шахтах та копальнях використовуються спеціалізовані гірничо-геологічні системи, що забезпечують функціональну підтримку вирішення багатьох завдань геології, геомеханіки, гірничого планування, маркшейдерії та оптимізації різних виробничих процесів. Всі автоматизовані системи гірничих підприємств може бути класифіковані в такий спосіб.

1. Гірничо-геологічні системи загального призначення. Системи такого профілю стандартно включають такі розділи, як: геологічне і геомеханічне моделювання, проектування і планування гірничих робіт і т. п. Найбільш відомі у світі компанії, які розробляють системи подібного типу: Gemcom, Surpac та Datamine, Micromine (основна гірничо-геологічна система).

2. Спеціалізовані гірничі системи. Існує велика кількість таких систем, що створюються спеціалізованими компаніями, самими гірничими підприємствами чи дослідницькими установами з урахуванням специфіки гірничо-геологічних та технологічних умов підземної розробки родовищ того чи іншого типів.

3. Багатофункціональні системи безпеки гірничого виробництва. В на даний час цілі та завдання багатофункціональних систем безпеки вугільних шахт визначено «Устаткування гірничошахтне. Системи безпеки вугільних шахт багатофункціональні».

Досить добре відомі та доступні вітчизняним підприємствам системи RockWare та Vulcan. Ці системи поєднують у собі функції автоматизованого проектування топології вугільних пластів із можливістю врахування їх геологічних, геомеханічних, геофізичних та гідрогеологічних характеристик для оптимального зберігання та оперування ними у геоінформаційних форматах у ГІС.

Близькі до названої спеціалізовані системи гірничої автоматизації під назвою MineScape, Gemcom і Surpac включають функціонал, здатний проводити різну обробку інформації про стан гірського підприємства, починаючи від введення первинних даних і закінчуючи каркасним і блоковим моделюванням родовищ, а також проектуванням та плануванням гірничих робіт.

Широко відома та успішно застосовується на вугільних шахах австралійська геоінформаційна система Micromine. Дана система має широкий спектр інструментарію для розробки та підтримки вирішення завдань автоматизації процесів відкритої та підземної розробки твердої та вуглеводневої сировини. Засоби цієї системи дозволяють вирішувати такі завдання: створення баз даних та їх імпорт-експорт у текстових та картографічних форматах; створення графіків, розрізів, планів, 2D та 3D-зображень та гістограм; статистичний аналіз геологорозвідувальної інформації; інтерактивна тривимірна інтерпретація розрізів та планів; каркасне моделювання рудних тіл та поверхонь; побудова в системі та оперування блоковими моделями із заданим розміром елементарних блоків; оцінка запасів шляхом розрізів. У системі Micromine є спеціалізовані пакети для обробки геологічних, геохімічних, геофізичних, геодезичних даних з можливістю трансформації географічних мереж,

виконання функцій проектування кар'єрів та інших робіт на шахтах та рудниках. Великим плюсом даної системи є наявність спеціальних скриптів-макросів для автоматизації робіт із заповнення великих обсягів даних.

Така система дає можливості при мінімальних витратах часу вирішувати завдання з високим ступенем точності результатів, що надаються.

Розглянутий ряд гірничо-геологічних геоінформаційних систем не вичерпує весь відомий комплекс апаратних та програмних технологій, але відображає основні типи та можливості процесів супроводу та управління гірничим виробництвом.

Відзначимо особливим чином, що всі перераховані системи та подібні до них не передбачають оперативну підтримку прийняття рішень щодо короткострокового прогнозу розвитку небезпечних ситуацій та, тим більше, газогеодинамічних процесів та явищ.

При збільшенні глибини розробки родовищ корисних копалин та ускладненні гірничо-геологічних та геомеханічних факторів зростає гірничий тиск і знижується безпека та ефективність ведення гірських робіт. Наявність безперервної та достовірної інформації про структуру та параметри НДС гірничого масиву поблизу гірських виробок дозволяє прогнозувати несприятливі прояви гірських динамічних явищ (ГДЯ), оцінювати безпеку роботи в виробках, що примикають до спостерігається, а також завчасно попереджати про відповідні небезпеки персонал шахт.

В даний час вивчення напружено-деформованого стану вугільного пласта здійснюється різними комплексними методами, що використовують у своєму наборі як лабораторні та аналітичні дослідження, так і інструментальні спостереження. Кожен з методів має свої переваги і недоліки, що визначає обмеження з їхньої використання у певних умовах. Усі методи оцінки напруженодеформованого стану вугільного пласта

можна поділити на три групи, різні за фізичними та методологічними підходами: геологічні, геомеханічні та геофізичні.

Геологічні методи засновані на аналізі загальної геологічної обстановки, а також на візуальному огляді гірських виробок, деформованих під дією гірничого тиску. Для точного визначення величин та напрямків, діючих у вугільному пласті, необхідно користуватися геомеханічними та геофізичними вимірами. Але для наближеної попередньої оцінки допускається використання результатів аналізу геологічного та геотехнологічного стану масиву гірських порід.

Насамперед «визначається тип масиву гірських порід, який може ставитися до однієї з чотирьох груп: породний масив кристалічного фундаменту, область контрастно вираженої складчастості чохла платформ, слабо метаморфізовані породи чохла, а також осадові комплекси (до яких належать родовища бурого вугілля, солей та гіпсу). Для перших двох типів характерний суттєвий прояв тектонічних сил, при цьому горизонтальні напрути різного знака можуть перевершувати вертикальні. У масиві третій групи тектонічні сили виявляються дуже слабо, для четвертої групи напружено-деформований стан масиву визначається виключно вагою налягаючих порід та підземною інфраструктурою.

Додаткова уточнююча інформація про горизонтальну напругу може бути отримана із аналізу горизонтальних переміщень земної кори. Значні переміщення зазвичай обумовлені високим рівнем напруг, що діють у горизонтальній площині. При цьому в сильнотріщинуватих породах, до яких відноситься вугільний пласт, максимальні величини напруг менше, ніж в аналогічних суцільних кристалічних масивах, що і представляє основну загрозу розвитку небезпечних пластичних та динамічних деформаційних процесів.

Розвиток інженерно-геологічних процесів, у тому числі і небезпечних, межах області активного впливу гірничотехнічних робіт у підземному виробленні (підготовчого чи очисного вибоїв) на гірничий

масив обумовлено, як відомо, зміною структури та параметрів НДС. Тут слід підкреслити особливе значення терміна «структура НДС», пов'язаного з уявленнями про дискретну (блокову) будову гірничого масиву, що визначає суттєві особливості розподілу та перерозподілу компонентів напруг у зоні впливу підземних гірничих робіт.

Оцінка напруги «в зоні оголення масиву (в межах перших метрів) здійснюється рядом інструментальних методів, регламентованих федеральними або відомчими документами для тих чи інших інженерногеологічних умов та технологій ведення гірничих робіт (давильні установки, дискування керна, вилучення штибу та ін). Широко відомі та експериментально-аналітичні методи, засновані на розрахунках напруг в околиці вироблення за відомими (виміряними) початковими напругами на оголенні масиву.

В даний час немає загальновизнаних уявлень про природу геогазодинамічних явищ (ГДЯ). На думку одних авторів, основна роль процесі викидів належить гірському тиску, на думку інших – стиснутого газу; деякі дослідники вважають, що в зонах викидів газ знаходиться головним чином у вільній фазі, інші – у сорбованому або кристалогідратному станах. Існує думка, що тиск газу у вугільних пластах, розташованих нижче зони газового вивітрювання, дорівнює гідростатичному, підпорядкований закону Клайперона-Менделєєва. Найчастіше протилежні уявлення про природу явища ускладнюють можливості розробки методів прогнозу таких метановиділень.

Загальновизнана методика розрахунку метановиділень із пласта передбачає підсумовування за джерелами виділення: оголена поверхня пласта відбите вугілля. При цьому прогноз метановиділень може визначатися за даними геологічного випробування природної метаноносності вугільних пластів, або за фактичним метановиділенням у раніше пройдених підготовчих виробленнях.

Розрахунок метановиділення з оголеної поверхні пласта з урахуванням природної метаноносності вугілля здійснюють, виходячи з інтенсивності метановиділення з одиниці площі оголення поверхні вугільного цілика та часу протікання процесу газовиділення. При розрахунках газовиділення з оголених поверхонь пласта враховують фактори, що характеризують зниження газоносності пласта та темпи зниження інтенсивності метановиділення в часі. Газовиділення з відбитого вугілля оцінюють на основі фактичних даних про його інтенсивність, часу знаходження відбитого вугілля у виробленні та різниці природної та залишкової метаноносності вугілля. Найчастіше вибухонебезпечна обстановка виникає в підготовчих виробках, що проводяться газоносними вугільними пластів, і становить 40–50 % вибухів і лише 20–28 % – у очисних вибоях та виробленому просторі.

В даний час прийнято вважати, що концентрація метану та інших горючих газів зазнає випадкових змін у часі та просторі. В у зв'язку з цим опис закономірностей утворення метаноповітряних сумішей та прогноз виникнення вибухонебезпечних ситуацій прийнято проводити на основі імовірнісних методів, тому що відомі детерміновані критерії недостатньо відображають фізичну сутність газовиділення. Таким чином, існуючі методи визначення газорясності призводять або до значних (фатальних) похибок, або до значних технічних труднощів.

Методи носять емпіричний характер, пов'язаний зі специфікою досліджуваних об'єктів і не враховують газодинамічні процеси, що протікають у гірських виробленнях. Згідно з відомими дослідженнями, розрахункові значення у 80% випадків дають відхилення від фактичних даних з перевищенням значень більш ніж на 30%. Отже, необхідно запропонувати рішення, що ґрунтуються на очевидних та детермінованих зв'язках у процесах еволюції НДС та газодинамічних потоків.

Принципово важливою обставиною у вирішенні проблеми організації ефективного і детермінованого на значному рівні методу

прогнозу подій, пов'язаних з ГДЯ, є необхідність дистанційної оцінки структури та параметрів НДС щодо сейсмічного відгуку гірського масиву.

Справді, фундаментальний зв'язок тензора «малих» напруг у фронті пружної хвилі з тензором «великих» напруг, що діють у тому ж обсязі масиву, являє собою пряму основу для функціонального переходу від сейсмічних атрибутів сигналів пружних хвиль різного типу до оцінкам структури та параметрів НДС в обсязі простору від перших до декількох десятків і сотень метрів на всі боки від оголення масиву у виробленні. Такі оцінки не збігаються за рівнем з оцінками інструментальних методів на оголенні масиву з таких зрозумілих причин:

- Відмінність у фізичних процесах прямих та дистанційних методів вимірювань;
- Поблизу оголення масиву оцінки напруг спотворені вільною поверхнею з невідомою функцією релаксації.

Подання реального гірського масиву у вигляді дискретної системи дозволяє отримати рішення для пружних модулів як функцій дискретності та тиску. Можна вважати, що процеси течій твердої та флюїдної (газової) фаз у дискретних середовищах узгоджуються в діапазоні швидкостей, які можна порівняти зі швидкостями підземних гірничих робіт (прохідницькі чи очисні процеси). Такий підхід має цілий ряд змістовних відмінностей та переваг, які в насамперед дозволяють конструктивно вирішувати проблеми міграції газу у додатку до геодинамічних процесів.

Методи аерологічного забезпечення безпеки виробництва вугільних шахтах

Норми та правила в галузі промислової безпеки вимагають обладнання шахти комплексом систем та засобів, що забезпечує організацію та здійснення безпеки ведення гірських робіт, контроль та управління технологічними та виробничими процесами в нормальних та аварійних умовах. Ці системи та засоби об'єднуються у багатофункціональну систему безпеки. Одна з функцій — забезпечення

аерологічної безпеки, в тому числі рахунок обов'язкової реалізації на шахтах систем аерогазового контролю (АГК).

Система АГК забезпечує безпеку ведення гірничих робіт шляхом безперервного автоматичного виміру (контролю) параметрів, що характеризують газовий та пиловий режими шахти, збору, відображення, зберігання та аналізу інформації, управління установками та обладнанням, що підтримують безпечний аерогазовий стан у гірничих виробках шахт.

Система АГК автоматично формує та забезпечує подачу керуючих команд на обладнання (пристрої, агрегати), що здійснює нормалізацію аерогазового стану, або (в аварійній ситуації) блокування виробничої діяльності на контрольованому ділянці.

Система АГК забезпечує:

- ☐ «автоматичний безперервний вимір (контроль) параметрів копальні атмосфери (концентрації газів, швидкості та напрямки руху повітря);
- ☐ безперервний контроль параметрів роботи головних вентиляторних та газовідсмоктувальних установок та положення дверей вентиляційних шлюзів;
- ☐ контроль та управління вентиляторами місцевого провітрювання;
- ☐ вживання своєчасних заходів щодо забезпечення промислової безпеки шляхом відключення напруги живлення електрообладнання та оповіщення працівників;
- ☐ надання інформації про контрольовані параметри фахівцям шахти, що здійснюють оперативне управління гірничими роботами та забезпечують безпеку гірничих робіт;
- ☐ зберігання інформації та можливість подальшого її використання при розробленні комплексних загальношахтних заходів щодо забезпечення промислової безпеки, при розрахунках кількості повітря, подається в гірничі виробки, а також для встановлення категорії шахти з газопроявів та з метою поточного (оперативного) виявлення природних та техногенних

небезпек, що впливають прямо чи опосередковано настан рудничної атмосфери;

- передачу інформації про аерологічну обстановку на шахтах у режимі реального часу до територіальних органів державного гірничого нагляду, надзвичайних ситуаціям та ліквідації наслідків стихійного лиха.

При реалізації функцій системи АГК за допомогою багатофункціональних програмно-технічних комплексів, що використовуються для побудови автоматизованих систем управління шахт, на їх частини, що реалізують функції системи АГК, також поширюються всі вимоги чинних нормативних документів.

При реалізації на вугільних шахтах основними функціями системи АГК є:

- автоматичний контроль (вимірювання) вмісту метану, оксиду вуглецю, інших небезпечних та шкідливих газів, кисню та пилу в рудничній атмосфері;

- автоматичний газовий захист;
 - автоматичний контроль витрати повітря;
 - автоматичний контроль параметрів роботи головних вентиляторних установок та газовідсмоктувальних установок;

- автоматичний контроль та управління роботою вентиляторів місцевого провітрювання;

- автоматичний контроль за положенням дверей вентиляційних шлюзів;

- телесигналізація та телевимірювання контрольованих параметрів рудничної атмосфери, вентиляційного обладнання (споруд) та апаратів електропостачання;

- телеуправління вентиляційним та іншим обладнанням, яке використовується для підтримки безпечного аерогазового режиму в гірничих виробках.

Функції системи АГК реалізуються за допомогою єдиної технічної системи або сукупності технічних пристроїв та систем, що забезпечують реалізацію однієї чи кількох функцій системи АГК.

До складу системи АГК входять:

- технічне забезпечення – сукупність технічних засобів, призначених для реалізації функцій системи АГК: стаціонарні датчики, що забезпечують контроль складу та параметрів рудничної атмосфери, запиленості та швидкості (витрати) повітря; стаціонарні підземні пристрої контролю та управління; сигналізуючі пристрої; джерела живлення; лінії (канали) зв'язку; бар'єри іскробезпеки та наземні пристрої збору, обробки, відображення та зберігання інформації;

- інформаційне забезпечення – сукупність систем класифікації та кодування технічної та технологічної інформації, сигналів, характеризують аерогазовий режим та контрольовані технологічні процеси, дані та документи, необхідні для реалізації функцій системи АГК. До складу інформаційного забезпечення також входять нормативи на документи, що автоматично формуються, в тому числі на машинних носіях інформації, необхідні для здійснення контролю за виконанням вимог промислової безпеки при експлуатації шахти;

- математичне забезпечення – сукупність методів вирішення задач аналізу, контролю та управління, моделі, алгоритми та їх опис, призначені для виявлення, прогнозування та попередження аварій та аварійних ситуацій;

- програмне забезпечення – сукупність програм, що забезпечують реалізацію функцій системи АГК, та його опис;

- метрологічне забезпечення, до складу якого входять опис типу системи АГК та компонентів її вимірювальних каналів, методики перевірки, засоби перевірки та посібники з їх експлуатації;

- організаційне забезпечення, що складається з документів (інструкцій, регламентів), що визначають структури та функції підрозділів,

дії персоналу, що використовує систему АГК та забезпечує її нормальне функціонування.

Багаторічний досвід впровадження та взаємодії зі службами експлуатації та обслуговування на шахтах дозволяє виробникам забезпечувати безперервне вдосконалення всіх видів систем АГК, що особливо актуально у зв'язку з багаторазовим збільшенням продуктивності сучасних видобувних та прохідницьких комплексів.

Підвищення ефективності систем АГК досягається за рахунок комплексного покращення якості їх функціонування. До найактуальніших можна віднести наступні напрямки роботи, що принципово впливають на підвищення безпеки ведення гірничих робіт:

- збільшення швидкодії чутливих елементів метанометрів та датчиків токсичних та шкідливих газів, що забезпечує менший час реакції на перевищення допустимих концентрацій та, відповідно, більш оперативне вироблення управляючих впливів;

- зменшення масогабаритних розмірів та збільшення енергоефективності технічних засобів системи АГК (датчиків, контролерів, джерел харчування), що дозволяє більш ефективно впроваджувати, експлуатувати та обслуговувати системи АГК;

- використання цифрових фізичних інтерфейсів передачі даних на всіх рівнях (сервер, підземний комутатор, контролер, датчик), що в результаті дозволяє підвищити надійність і достовірність даних, що передаються, а також зменшити кількість використовуваної кабельної продукції;

- використання розподілених систем збору та обробки даних (встановлення віддалених модулів збору даних у місці встановлення групи датчиків та передача даних у контролер за цифровим інтерфейсом; використання віддалених модулів збору даних замість контролера), що дозволяє оптимізувати кількість технічних засобів системи АГК, а також спростити їх експлуатацію та обслуговування;

□ використання оптичних ліній зв'язку та комутаторів, що забезпечують передачу даних у підземних гірничих виробках на швидкостях до 1 Гбіт/сек.;

□ використання радіоканалу для передачі даних, що дозволяє передавати дані вимірювання (контролю) параметрів АГК з рухомих машин та механізмів (очисні та прохідницькі комбайни, бурові верстати, вантажно-доставні машини);

□ збільшення ємності та терміну служби джерел живлення, елементів систем АГК;

□ постійне вдосконалення методів обробки даних, а отже та алгоритмів роботи програмного забезпечення системи АГК на всіх рівнях (датчик, модуль віддаленого введення/виводу, контролер, комутатор, сервер), що дозволяє істотно підвищити обсяг даних, що передаються (кількість, швидкість, надійність, достовірність);

□ технічна та програмна сумісність із будь-якою, що впроваджується на шахтах, сучасною апаратурою контролю та управління, що, зокрема, дозволило створити спеціалізовану геоінформаційну систему, докладний розгляд якої і є предметом досліджень у представленій дисертаційній роботі;

□ реалізація взаємодії системи АГК з іншими системами МФСБ як на верхньому, так і на нижньому рівні, що дозволяє проводити комплексний аналіз даних та отримувати нову інформацію, що характеризує стан промислової безпеки контрольованого об'єкта (у зокрема, передача даних АГК від персональних газоаналізаторів використанням бездротового радіоканалу системи позиціонування; передача підтвердження прийому гірника сигналу аварійного оповіщення, що має важливе значення при реалізації комплексу технічних засобів геоінформаційної системи, покликаної забезпечити прийняття оптимального рішення персоналом шахти, якщо результатом прогнозу буде сигнал "небезпечно").

Методи та системи контролю стану стійкості гірського масиву на практиці застосування технологій ведення підземних гірничих робіт

Відповідно до чинного законодавства підземні вироблення (шахти, тунелі тощо) є небезпечними виробничими об'єктами, та впровадження систем гірничого моніторингу з метою прогнозування процесів розвитку небезпечних динамічних явищ та раптової зміни інженерногеологічних умов для них має здійснюватися відповідно до «Про промислову безпеку небезпечних виробничих об'єктів».

До складу геофізичних спостережень залежно від конкретних інженерно-геологічних умов включаються:

- а) сейсмоакустичні спостереження (сейсмічне профільування з земної поверхні та з підземних виробок, сейсмічний каротаж, багатоточкове сейсмічне просвічування ціликів між виробками та свердловинами) діапазон частот 10-500 Гц);
- б) методи шумового сейсмічного моніторингу;
- в) акустико-емісійні та ультразвукові виміри в діапазоні частот 500–30 000 Гц на оголенні вибою тунелю та проби ґрунтів;
- г) електрометричні спостереження (електричне профільування, вертикальне електричне зондування на поверхні та в підземних виробках, вимірювання природного поля, георадарне обстеження);
- д) каротажні дослідження;
- е) метод електромагнітного імпульсного (ЕМІ) надширокосмугового (СШП) зондування» [73].

Однією із складових системи методів пасивного шумового сейсмічного моніторингу геосередовища є сейсмічна емісійна томографія. Фізичною основою вітчизняного варіанта методу емісійної томографії є той факт, що в геосередовищі існують області слабого шумоподібного високочастотного (більше 1 Гц) сейсмоакустичного випромінювання, що активізуються при низькочастотних деформаційних природних і техногенних впливах. Ефект існування сейсмічної емісії було виявлено у

1975 м. Л. Н. Рикунівим, О. Б. Хаврошкіним та В. В. Циплаковим та зареєстрований як відкриття. Відкриттю, крім робіт авторів, передувала низка експериментів, для пояснення результатів яких виявлялося недостатньо уявлення про екзогенну генерацію сейсмічних шумів. Енергетичний масштаб сейсмічної емісії набагато менший за мікроземлетруси і сейсмічні удари, що дозволяє вивчати тонку структуру сейсмічного процесу.

Механізми генерації сейсмічної емісії та еволюції високочастотних ендегенних сейсмічних сигналів при поширенні в геосередовищі мало зрозумілі. Проте існуючі експериментальні результати свідчать про можливість виділення високочастотних просторово-когерентних сигналів емісійного походження та локалізації джерел випромінювання, що знаходяться на великих відстанях від реєструючої системи. Це дозволило розвинути систему методів пасивного моніторингу, що дозволяє вивчати структуру сейсмічного процесу, відстежувати просторово-часову динаміку геосередовища та підготовку небезпечних динамічних подій, виявляти неоднорідності будови середовища: області підвищеної тріщинуватості та гетерогенності, розломи та великі тріщини, зони концентрації напружень та міграції флюїда.

Таким чином, емісійна томографія разом з іншими розвиненими методами є дієвим інструментом для експериментальних досліджень геосередовища: отримання тимчасових серій тривимірних зображень розподілів випромінювачів сейсмічної енергії з оцінкою параметрів випромінювання дозволяють ідентифікувати неоднорідності структури та простежувати просторово-часовий перебіг розвитку динамічних процесів. Першу експериментальну роботу з використанням методу емісійної томографії було зроблено за даними групи NORSAR у Норвегії. Пізніше метод використовувався для дослідження в сейсмоактивних, вулканічних, геотермальних областях та в гірничій справі багатьма вітчизняними та зарубіжними вченими та фахівцями сейсмологами.

Історія застосування геофізичних систем контролю стану стійкості масиву гірських порід у підземному будівництві та у процесах розробки родовищ твердої сировини налічує кілька десятиліть. Найбільш розвинені сейсмічні системи реєстрації сейсмоенергетичного стану масиву гірських порід (пасивні методи реєстрації сейсмоакустичної емісії у контурі шахтних полів). У меншій мірі застосовуються методи сейсмічної локації масиву гірських порід (реєстрація сигналів відбитих хвиль у режимі активного механічного впливу на забій гірських механізмів або імпульсних впливів ударно-вибухових типів). Але рішення основної проблеми – прогнозу ступеня ризику розвитку небезпечних геодинамічних явищ залишається складним, невизначеним завданням, не реалізованим в даний час в будь-якій прийнятній технологічній схемі.

Спеціалізована система сейсмічного контролю PASAT M призначена для отримання, накопичення та передачі шумової сейсмічної інформації для подальшої обробки. Обробка такої сейсмічної інформації передбачає визначення напруг у вугільному пласті та їх зміни за часом та простором (аномалії напруг, пов'язані з: наявністю меж залишеної розробки, впливом вугільного залишку сусідніх пластів, активною лавою тощо); визначення геологічних неоднорідностей попереду вибою; визначення параметрів, що описують фізико-механічні характеристики (модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона); визначення категорії ґрунту до початку гірничотехнічних робіт. Переваги даної системи полягають у її мобільності та простоті використання. Точність одержуваних результатів відповідає заданим критеріям достовірності результатів для мобільних спеціалізованих систем гірничого виробництва.

Геоінформаційна сейсмоакустична система ARES призначена з метою оцінки безпеки гірських ударів на ділянках шахт. Дана система розроблена для шахт, небезпечних по гірських ударах, з можливістю застосування в шахтах, небезпечних по газу та пилу. Завданням системи є перетворення за допомогою вимірювальних зондів швидкості механічних

коливань масиву гірських порід на електричний сигнал, подальше його посилення, фільтрація та передача на поверхню в центр геофізичної станції для цифрової обробки сигналів та їх комп'ютерної інтерпретації. Ця система веде сейсмоакустичні спостереження в особливо небезпечних ділянках шахти – лавах, з оцінкою небезпеки гірських ударів. Вимірювальні зонди, встановлені на анкерах у бічній стіні штреків, перетворюють швидкості механічних коливань масиву гірських порід у електричний сигнал. За допомогою спеціальних засобів дана система може контролювати обриви кабелю, поляризацію сигналу та прослуховування сигналу по вибраному каналу. Дана система має спеціалізований функціонал для посилення, фільтрації та визначення параметрів сейсмоакустичних сигналів поблизу вимірювальних зондів. При виявленні великих сейсмоакустичних явищ проводиться багатоканальний запис та аналіз цих подій із синхронізацією щогодини GPS. Спеціальні розрахункові модулі обчислюють розподіл умовних енергій сейсмоакустичних явищ та активність їх виникнення. Аналітичні модулі проводять спеціалізований аналіз даних, що реєструються на основі статистичних методів з використанням функції ризику при виникненні несприятливих подій. Для зберігання архіву зареєстрованих даних використовуються бази даних, які можуть зберігати великі обсяги інформації. Для зручного сприйняття зареєстрованої інформації передбачено спеціальний модуль візуалізації. Загалом функціональність геоінформаційної системи ARES передбачає спостереження за привибійними частинами пластів з метою моніторингу та аналізу реєстрованих несприятливих подій.

Геоінформаційна сейсмічна спеціалізована автоматизована гірська система ARAMIS поєднує в собі безліч інструментів для визначення розташування поштовхів, що виникають в районі шахти, оцінку їх енергії та ступеня небезпеки за гірськими ударами на основі застосування сейсмічних методик. Ця система, як і всі її подібні, має модульну

структуру, кожен модуль має специфічний функціонал, залежно від виконуваних ним опцій. Визначення енергії здійснюється на основі інтегрального методу, а також спектрального аналізу та цифрової фільтрації зареєстрованих подій. Модуль відображення результатів локалізації на карті має у своєму розпорядженні можливості для забезпечення масштабування зображень сигналів, визначення координат точки вогнища динамічного явища. Додаткові модулі системи ARAMIS дають можливість розрахунку вогнища та енергії поштовху в автоматичному режимі роботи з наданням оператору звіту про зареєстровані події у вигляді сейсмограми. Функціональність цієї системи забезпечується за рахунок застосування іскробезпечних підземних передавачів та аналого-цифрових перетворювачів. Для максимального уловлювання різного спектра сигналів застосовуються перешкоднозахищені датчики – сейсмометри (датчики швидкості зміщення ґрунту). Поверхневий центр збору інформації забезпечений високопродуктивним реєструючим сервером. Система аналізу та візуалізації на основі алгоритмів інтерпретації даних проводить співвіднесення небезпечних подій з критеріями обробки, що реєструються.

Геоінформаційна система сейсмічного моніторингу GITS, розроблена ВНИМИ, представляє «собою програмно-технічний комплекс, призначений реалізації безперервного контролю шахтного поля щодо виявлення ділянок і зон активізації природних і техногенних динамічних процесів, які у вугільному пласті. Поставлені задачі вдається досягти у вигляді використання розподіленої мережі датчиків.

Ця система передбачає введення та обробку «стаціонарної» інформації (схеми підземних виробок, планів відпрацювання корисних копалин, геологічних розрізів, схем встановлення контрольних точок спостереження) та поточної інформації (щоденні карти сейсмічної активності, добові графіки акустичної активності тощо). Ця система базується на програмному забезпеченні фірми Autodesk: RastArts –

програма роботи з растровими зображеннями, Softdesk – програма побудови поверхонь, Vtchanical Desktop – програма твердотільного моделювання. Аналітичні програми виробляють обробку сейсмічних поштовхів і розраховують енергію, і в кінцевому рахунку, відбувається визначення зон підвищеної сейсмонебезпеки.

Системи ARAMIS та GITS, як і багато інших, засновані на пасивному методі реєстрації природної та техногенної сейсмічної активності гірського масиву. Застосування цього методу та спеціалізованої апаратури визначено чинною Інструкцією з безпечного ведення гірничих робіт.

Добре зарекомендувала себе сейсмоакустична система під назвою АПСС-1, яка активно використовується на вугільних підприємствах України та досить об'єктивно контролює стійкість оголення масиву гірських порід у ближній зоні грудей вибою на основі інтегрального амплітудно-частотного параметра. Головною перевагою даної апаратури, зважаючи на її простоту, є низька вартість, відсутність проблем з обробкою інформації та невеликі витрати на обслуговування.

Досвід застосування пасивних методик контролю стану стійкості масиву гірських порід, як і інших згаданих систем, показав певні можливості контролю елементів структури масиву гірських порід та деяких непрямих параметрів стану стійкості масиву гірських порід, але надзвичайно низьку ефективність об'єктивного прогнозу рівня ризику розвитку небезпечних ситуацій у певній галузі простору. Ця обставина обумовлена принциповою невизначеністю процесу підготовки та розвитку сейсмічної події, т.к. критична ситуація щодо перевищення межі міцності гірського масиву може бути викликана як підвищення параметрів НДС у локальній області (модель консолідації), і при їх зниженні (модель деструкції).

Вищесказане визначено властивістю двомодульності реальних середовищ дискретною структурою, в яких набори пружних модулів у

процесах стиснення та розвантаження масиву гірських порід важливо не збігаються. Відповідно, здійснити прогноз координат області та часу наступу небезпечної сейсмічної події на рівні детермінації вище 50% є дуже складним завданням, що підтверджується багаторічною історією сейсмологічних спостережень. Так, наприклад, за 11 останніх років колосальні витрати на створення сейсмологічної мережі штату Каліфорнія із понад 1500 стаціонарних сейсмологічних станцій не забезпечили суттєвого перевищення рівня детермінації прогнозу землетрусів, який за фактом становив 52–53%.

Далі розглядаються різні методи активного прогнозу оцінки стану стійкості гірського масиву, які рекомендовані переважно для вирішення сформульованих завдань при будівництві тунелів, але Важливо можна використовувати і застосовуються під час експлуатації гірських підприємств із підземним методом видобутку корисних копалин.

До найбільш відомих методів активного прогнозу геологічної будови гірського масиву попереду вибою виробітку відносяться системи сейсмічної томографії TRT 6000 (NSA Engineering, США) та «TSP 303 (Amberg Measuring Technique Ltd., Швейцарія). Ці методи засновані на реєстрації сигналів відбитих хвиль від джерел імпульсного типу (удари та вибухи) і досить давно застосовуються у практиці тунельного та шахтного будівництва (наприклад, у Китаї з 2000 року).

Показані схеми польових спостережень у тунелі за методом TRT 6000, відповідно до ідеї методу томографії поєднання відстані від площини відбивача для кожної пари «джерело-приймач» визначається геометричною фігурою у вигляді еліпса, з фокусів якого знаходяться координати джерела та приймача. Збільшуючи кількість цих пар і змінюючи координати джерел і приймачів, можна визначити форму геологічної, що відображає Межі. При обробці польових вимірювань формується сіткова модель досліджуваного середовища вибою для

розрахунку положення та контрасту акустичного імпедансу геологічного середовища.

Дозвіл методу TRT 6000 визначається кроком решітки в моделі від 1 м і значно погіршується із збільшенням відстані. Точне позиціонування передавача та приймача має важливе значення для визначення просторового становища сейсмічних відбивачів у масиві гірських порід. Час технологічного циклу спостережень на забої тунелю складає близько 2-3 годин.

Слід підкреслити, що ця схема можлива лише за технології безперервної чистової обробки вибою. При новоавстрійській технології проходки з тимчасовим кріпленням застосування цього методу неможливе.

Метод TSP (Tunnel Seismic Prediction) як система сейсмічного прогнозу для роботи в умовах будівництва тунелів було розроблено у фірмі Amberg Technologies AG (Швейцарія) на початку 1990-х років. Поточною версією цього методу є TSP 303. Принцип методу заснований на модифікації системи вертикального сейсмічного профілювання у припущенні, що тунель аналогічний габаритам горизонтального стовбура свердловини.

Система спостережень у TSP-методі складається з 30–40 сейсмічних джерел, представлених зарядами вибухової речовини (200 г амоніту), поміщеними в шпури, пробурені через рівні проміжки в борту або в ґрунті тунелю на глибину 1,5 метри. Позаду вибухових шпурів по обидва боки тунелю в бортах буряться 2 горизонтальні шпури на глибину 2 м, в які встановлюються анкери з трикомпонентними сейсмоприймачами. Геометрія розміщення та положення приймачів хвиль жорстко закріплена в алгоритмі обробки даних і у процесі польових вимірів не змінюється. Польовий технологічний цикл спостережень за цим методом триває близько 2 змін (10-15 годин).

Після обробки та інтерпретації даних TSP прогнозуються геологічні неоднорідності попереду вибою в масиві тунелю на відстані до 200 метрів.

Виділяються зони розломів, карстові порожнини та водорясні зони, розраховуються характеристики міцності масиву гірських порід (коефіцієнт Пуассона, статичний та динамічний модулі пружності, щільність). Обробка польових матеріалів на місці проведення робіт неможлива та вихідна інформація у форматі апаратних засобів системи передається по комунікаційним засобам зв'язку (IP) до центру обробки в Швейцарії до компанії розробника технології (витрати часу на обробку в цьому варіанті займають близько 1-го тижня) або до спеціалізованого центру виконавця робіт з висококваліфікованим персоналом.

Необхідно відзначити, що з точки зору надійності та якості реєстрації сигналів відбитих хвиль система TSP, безумовно, є еталоном, з яким слід порівнювати будь-яку іншу схему активної сейсмічної локації гірського масиву. Підкреслимо, що система TSP – це спеціалізована система для технічного моніторингу гірничого масиву в тунельному будівництві у локальному застосуванні та, таким чином, не відповідає всім вимогам безперервного контролю у вугільних шахтах.

Результати застосування систем TRT та TSP приймаються у форматі прогнозних геологічних моделей з оцінкою фізико-механічних властивостей та елементів порушення суцільності масиву гірських порід.

В цілому, на основі методу активної локації масиву сейсмічними хвилями відбитого типу попереду вибою підземного вироблення за наведеними прикладів можна зробити висновок про перспективність цього підходу в тунельному будівництві, але про його обмежене застосування в силу цілого ряду змістовних, технічних та економічних проблем у шахтних умовах

Крім того, ці типи систем не можна застосовувати в небезпечних газах вугільних шахтах, тому що вони не передбачають наявності необхідних засобів вибухозахисту, використання яких явно вплине і процедуру, і якість досліджень.

Регламентні вимоги до інформаційної бази забезпечення безпеки підземних гірничих робіт

В даний час діє «Інструкція з моніторингу гео- та газодинамічного стану масиву гірських порід, прогнозу гірських ударів, раптових викидів вугілля (породи) та газу при відпрацюванні вугільних родовищ. В основу Інструкції покладено вимоги наступних законодавчих та нормативних документів.

Вимоги, викладені в Інструкції, поширюються на шахти країни (незалежно від форм власності), що розробляють небезпечні та загрозливі по гірських ударах та раптовим викидам вугілля (породи) та газу пласти, і відповідно з'явилися основними критеріями під час вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань. Відзначимо найбільш значущі вимоги Інструкції з погляду побудови геоінформаційної системи контролю та прогнозування геодинамічних явищ при підземному відпрацюванні родовищ вугілля.

Інструкція містить вимоги до порядку:

- а) проведення інструментального стану вуглепородного масиву;
- б) проведення автоматизованого моніторингу стану вуглепородного масиву;
- в) проведення прогнозу раптових викидів вугілля (породи) та газу;
- г) проведення прогнозу гірських ударів;
- д) контролю за ефективністю противикидних заходів.

Основні завдання безперервного контролю та прогнозу розвитку небезпечних динамічних явищ, встановлені названою «Інструкцією», визначають необхідність проведення комплексного моніторингу з метою автоматизованого безперервного контролю та прогнозу розвитку небезпечних геогазодинамічних явищ (ГДЯ) при проведенні підготовчих та очисних гірничих виробок у шахтах із застосуванням сучасної високопродуктивної гірничої техніки, що забезпечує високі швидкості їхнього просування і високі темпи видобутку вугілля.

Комплексний моніторинг конструюється на поєднанні взаємодоповнюючих інструментальних та автоматизованих методів отримання та використання даних стану масиву гірських порід.

Моніторинг організується на комплексному принципі використання геофізичних, геомеханічних та газодинамічних способів контролю та оцінки співстояння масиву попереду вибою та в околиці очисної та підготовчої гірничої виробки. Відмінною особливістю його є універсальність, що забезпечує можливість прогнозування ступеня небезпеки всіх відомих типів ГДЯ, діагностику основних причин їх виникнення та контроль ефективності застосовуваних способів запобігання.

Метод комплексного моніторингу оцінки рівня небезпеки гірничих робіт будується за блочно-модульним принципом побудови і формується з чотирьох основних автоматизованих підсистем (блоків):

- а) підсистеми акустичного контролю напружено-деформованого стану приви́бійної зони масиву та оцінки небезпеки газодинамічних явищ;
- б) підсистеми контролю газодинамічної активності приви́бійного масиву та оцінки небезпеки газодинамічних явищ;
- в) підсистеми контролю сейсмічної активності шахтного поля (діляниці) та оцінки небезпеки газодинамічних явищ;
- г) підсистеми геомеханічного прогнозу, діагностики та оцінки ризику газодинамічних явищ.

Це дозволяє при подальшому класифікувати аналізований метод як автоматизований моніторинг, основна функція якого реалізується за визначенням геоінформаційною системою.

При цьому реалізований процес моніторингу підприємств більшості вугільних компаній проводиться автоматизованою системою, побудованою на основі сучасних технічних та програмних засобів, що здійснює безперервний моніторинг параметрів, що характеризують гео- та газодинамічний стан розроблюваного масиву гірських порід та аерогазових

характеристик провітрювання виробок, здійснює збір, перетворення, передачу, обробку, відображення, зберігання та аналіз інформації, подання її в режимі реального часу, а також контролює протиаварійні заходи, що підтримують безпечний гео- та газодинамічний стан вуглепородного масиву.

Якщо об'єднати загальні нормативні вимоги до геоінформаційних систем, досвід експлуатації ГІС на гірничих підприємствах та специфічні умови їх застосування при відпрацюванні вугільних родовищ можуть бути сформульовані основні завдання, що покладаються на геоінформаційну систему у загальній структурі вугільної шахти.

Геоінформаційна система повинна забезпечувати інформаційно-аналітичний супровід процесів підприємства щодо:

- моніторингу стану вугільного пласта, що вміщують порід та гірничого масиву загалом;
- прогнозу стану вугільного пласта, що вміщують порід та гірського масиву в цілому;
- прогнозу небезпечних природних та техногенних явищ при підземній розробці твердих корисних копалин;
- оцінки ризику небезпечних природних та техногенних явищ при підземній розробленні твердих корисних копалин;
- вироблення технологічних рішень щодо зниження або запобігання шкоди від виявлених у прогнозі небезпечних природних та техногенних явищ під час підземної розробки твердих корисних копалин;
- моніторинг роботи очисного комплексу: струмові навантаження, температура окремих вузлів, рівень вібрації, стан апаратних захистів енергетичних вузлів, поточне положення комбайна, напрямок та швидкість його переміщення;
- оцінки та аналізу технічного стану очисного комплексу за даними моніторингу його роботи;
- прогнозування стану очисного комплексу;

- вироблення програм обслуговування та ремонту очисного комплексу;

- формування та ведення нормативно-довідкової інформації, бази даних очисного комплексу, заходів, виконаних робіт та їх результатів, показників та індексів технічного стану очисного комплексу;

- аналізу отриманих прогнозів, вироблених та вибраних технологічних рішень на основі фактично спостережених станів гірничого масиву, рудничної атмосфери та очисного комплексу.

Геоінформаційна система, відповідаючи вимогам інших нормативних матеріалів, має забезпечувати:

- контроль стану вугільного пласта, що вміщують порід та гірського масиву в цілому при підземній розробці твердих корисних копалин;

- контроль стану очисного комплексу;

- підвищення ефективності роботи очисного комплексу на основі отриманих даних про стан, будову, порушеність вугільного пласта, вміщуючих порід та гірничого масиву в цілому та можливості забезпечення заданої продуктивності лави;

- підвищення відмовостійкості очисного комплексу на основі своєчасного обслуговування та ремонтів;

- підвищення якості прийняття технологічних рішень за рахунок оперативності подання, повноти, достовірності та зручності форматів відображення інформації;

- підвищення безпеки ведення гірничих робіт під час підземної розробки твердих корисних копалин за рахунок своєчасного виявлення та попередження небезпечних природних та техногенних явищ та проведення технологічних заходів щодо запобігання їх прояву.

Геоінформаційна система має будуватися з ієрархічного принципу і включати:

- підсистему та пристрої нижнього рівня, призначені для отримання інформації про об'єкт моніторингу від первинних датчиків контролю

гірського масиву та параметрів очисного комплексу, виконаних у вибухобезпечне виконання;

- підсистему та пристрої середнього рівня, призначені для збору інформації від первинних датчиків контролю, попередньої обробки інформації, обміну інформацією з технічними засобами верхнього рівня, що складається з контролерів і використовує загальношахтну високошвидкісну інформаційну магістраль, виконану із резервуванням;

- підсистему та пристрої верхнього рівня, призначені для візуалізації стану параметрів та об'єктів управління системи з використанням графічних образів та анімації, операторського інтерфейсу, реєстрації та зберігання даних, документування та генерації звітів, автоматичної діагностики стану технічних засобів усіх рівнів, протоколювання облікових показників роботи системи, архівування інформації в базах даних, механізму вироблення технологічних рішень, блоку обліку, планування, забезпечення трудовими та матеріально-технічними ресурсами для проведення технічного обслуговування та ремонту, моніторингу, аналізу та оцінки технічного стану очисного комплексу;

- пристрої та лінії зв'язку, що забезпечують обмін інформацією та командами між різними пристроями та підсистемами ГІС Мікон;

- пристрої електроживлення;

- системне програмне забезпечення та прикладне програмне забезпечення.

В цілому, перелічені вище умови та вимоги неможливі та недоцільно реалізувати у межах однієї системи, що вимагає зосередження зусиль на розробку таких програмно-технічних засобів, які цілеспрямовано фіксують поточні параметри напруженого та аерогазового стану гірського масиву та спеціалізовані на своєчасний прогноз рівня ризику розвитку небезпечних ГДЯ.

Завдання безперервного контролю та прогнозу розвитку небезпечних динамічних явищ на основі створення геоінформаційної системи

Досвід експериментальних та аналітичних досліджень розвитку аварійних ситуацій у процесах ведення підземних гірничих робіт у вугільній галузі свідчить про очевидну необхідність фіксувати у безперервному режимі структуру та параметри НДС гірничого масиву в зоні ведення підземних робіт, що є основою для оцінки рівня ризику розвитку небезпечних геогазодинамічних процесів та пов'язаних з ними процесів перерозподілу газових потоків.

Кордони блокової структури формують у масиві зони дезінтеграції гірських порід, що визначає аномальні значення компонентів напруг (розрив функцій компонент, або – високі значення градієнта напруги). Зауважимо, що з середовища з дискретної структурою цілком прийнятний термін «тиск» за аналогією з рідким середовищем, і далі можна оперувати таким важливим визначенням як «градієнт тиску», вважаючи можливий діапазон його мінливості у негативних (стиснення) та позитивних (розтягування) значеннях. На фрагменті «б» показаний приклад розподілу відносних оцінок градієнта тиску у масиві попереду вибою прохідницького штреку.

Відповідно до класичних визначень вся зона впливу підземного вироблення на гірський масив поділяється на кілька зон – зона віджиму, ближня зона, середня і дальня зона. У перших двох зонах переважають пластичні деформації, далі гранично пружні. Межі названих зон можуть фіксуватися аномальними значеннями градієнтів тиску (новоутворені блокові структури), крім сформованих геодинамічних процесів зон у земній корі, які відображатимуться більш інтенсивними аномаліями градієнтів тиску.

Відповідно, процеси тертя в активній плікативної системі блоків призведуть до розвитку динамічних процесів – «трісків», ударів тощо, по одній із двох відомих моделей сценаріїв – консолідації та деструкції (фрагмент «с»). У першому випадку динамічний процес розвивається при наростаючих напругах, у другому – при розвантаженні масиву. В обох

випадках відбудеться імпульсний стрибок напруги або - іншими словами - сейсмічне подія, яке може бути зафіксовано сейсмічною реєструючою системою (фрагмент "d").

Тут необхідно ще раз наголосити, що інваріантність двох сценаріїв розвитку сейсмічних подій породжує повну невизначеність прогнозу двомодульному середовищі (пружні модулі для стискаючих і розтягуючих навантажень принципово різні) - критична ситуація у варіанті наростаючих напруг наступить значно пізніше, ніж у варіанті розтягуючих напруг. З цих міркувань цілком зрозумілий досяжний рівень ймовірності прогнозу настання сейсмічної події, яка несуттєво перевищує 50–60 %. Саме такі показники прогнозу характерні для існуючих пасивних сейсмічних систем прогнозу гірських ударів, встановлених на вугільних та рудних шахтах.

Механізми генерації сейсмічної емісії та еволюції високочастотних ендегенних сейсмічних сигналів при поширенні в геосередовищі мало зрозумілі. Проте існуючі експериментальні результати свідчать про можливість виділення високочастотних просторово-когерентних сигналів емісійного походження та локалізації джерел випромінювання, що знаходяться на значних відстанях від реєструючої системи.

Це дозволило розвинути систему методів пасивного моніторингу, що дозволяє вивчати структуру сейсмічного процесу, відстежувати просторово-часову динаміку геосередовища та підготовку небезпечних динамічних подій виявляти неоднорідності будови середовища: області підвищеної тріщинуватості та гетерогенності, розломи та великі тріщини, зони концентрації напруг та міграції флюїду.

Враховуючи наведені елементи моделі гірського масиву слід назвати принципово важливу послідовність вирішення наступних завдань:

- 1) дистанційне визначення положення зон дезінтеграції масиву та оцінки величини градієнта тиску на межах цих зон (що можливо лише на основі методу сейсмічних відбитих хвиль – активна локація відбивачів сейсмічних хвиль);

2) безперервна реєстрація сейсмічних подій з визначенням координат подій та їх енергетичних параметрів (пасивна локація сейсмічних подій);

3) безперервна оцінка метанобильності атмосфери підземного вироблення з контрольованим трендом цих оцінок у міру наближення виробітку до виявлених зон дезінтеграції.

4) оцінка рівня ризику виникнення та розвитку небезпечних ГДЯ як інтегрального параметра: «градієнт тиску-енергія сейсмічних подій-тренд метанорясності.

Необхідно особливим чином відзначити, що кожне з перерахованих задач в індивідуальному рішенні не здатна забезпечити надійний рівень оцінки рівня ризику розвитку небезпечного ГДЯ. По суті, основний функціонал геоінформаційної панелі у складі багатофункціональної системи безпеки вугільної шахти повинен відповідати на запитання: дистанція до об'єкта ризику, відносна оцінка градієнта тиску, енергетичний стан об'єкта в часі та прогнозований обсяг газу у виробленні при зустрічі з виявленим об'єктом. Відповідно до вимог чинних нормативних документів підсумкова оцінка ризику має набувати двох значень – «небезпечно» або «небезпечно».

Загальна ідея прогнозу в даній схемі заснована на трансформації 3Dмасиву сейсмічного атрибуту (амплітуди та частоти сигналів відображених хвиль) або його плоского перерізу в прогнозний графік метанобильності попереду вибою виробітку на необхідну дистанцію. Послідовність такого прогнозу передбачає:

- підсумовування всіх значень сейсмічного атрибуту за 3D-масивом або (в його плоскому перерізі в лінійний масив) значень центру масиву або його перерізу (відносні значення структури суцільності гірського масиву);

- нормування отриманих значень структури суцільності масиву тренду метанорясності, знайденому за результатами аерогазового контролю на обраному інтервалі проходки вибою (відносні значення метанорясності);

– нормування діапазону відносних значень метанобильності до досягнутому діапазону метанорясності за інтервалом проходки (абсолютні значення метанорясності на всю дистанцію прогнозу).

Наведена схема дій може бути покладена в основу розробки геоінформаційної панелі системи безпеки шахти, яка передбачає технічну та програмну синхронізацію за часом реєстрованих параметрів двох систем поточного (безперервного) контролю: аерогазового та сейсмічного.

Висновки

За результатами виконаного огляду проблеми прогнозу структури та параметрів гірничого масиву на безпечну дистанцію від вибою підземного вироблення можна зробити кілька наступних, найбільш принципових висновків:

1. Існуючі системи сейсмічної локації гірського масиву пасивного та активного типів забезпечують фіксування об'єктів порушення суцільності (зон дезінтеграції гірських порід) та координат джерел сейсмічного шуму у зоні впливу гірничотехнічних робіт.

2. Достовірність прогнозу місця можливого розвитку небезпечного геодинамічного явища на основі індивідуальної оцінки безпеки щодо активного або пасивним методам не перевищує допустимий рівень детермінації.

3. Доцільно далі розглядати варіанти функціонування засобів пасивного та активного сейсмічного контролю в узгодженому за часом режимі аерогазового контролю в єдиному координатному просторі гірського масиву.

Реалізація спільного застосування засобів сейсмічного та аерогазового контролю вимагає прийняття узгоджених рішень щодо оптимального програмно-технічного забезпечення прохідницьких та видобувкових робіт на рівні поточного та локального контролю та прогнозу розвитку небезпечних геодинамічних явищ.

4. ДИНАМІЧНІ ЯВИЩА ЯК СЛІДСТВО ВЗАЄМОЗМІНИ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ І МЕТАНОБИЛЬНОСТІ ВУГЛЕРОДНОГО МАСИВУ

Теоретичний підхід до визначення залежності метановиділення у гірничих виробках та параметрів гірського масиву в зонах їх взаємовпливу пропонується здійснювати у два етапи.

На першому етапі використовується відомий аналітичний метод функціонального зведення загального гірського тиску та проникності обраного об'єму середовища.

На другому етапі пропонується проводити розрахунок параметрів напружено деформованого стану масиву з використанням принципів кінцевоелементного моделювання. Зокрема, стосовно оцінки потоку газу пропонується використовувати геомеханічний аналіз напруг у гірському масиві з урахуванням реальної геометричної моделі виробітку. Моделювання процесу взаємовпливу гірничих виробок, масиву вугільного пласта і порід, що вміщують, одночасно вирішує завдання фазової диференціації флюїду прямим та непрямим показниками, таким як: відносна оцінка гірського тиску, фактичний коефіцієнт Пуассона, кількісний тренд метаноряби тощо.

Розглянемо методологію підходу до вирішення цього завдання стосовно гірничому виробленню - очисному вибою, що проводиться по вугіллю вздовж простягання пласта та підготовчому вибою з варіантом проходки при просуванні його до вугільному пласту, наприклад квершлагоу, у процесі розтину вугільного родовища.

Завдання I етапу полягає у визначенні залежності між градієнтом тиску в гірському масиві та основними характерними параметрами самого масиву.

II етап дозволяє на основі випереджаючого сейсмічного прогнозу провести оцінку характеру перебігу газу в масиві з точки зору небезпеки його припливу в гірничий виробіток.

Регламент з газових шахт, що діє в даний час, на основі відносної величини метанообильності (обсяг газу, що надходить у вироблення за добу на 1 т середньодобового видобутку вугілля) встановлює наступну градацію шахт за категоріями небезпеки:

1-а категорія шахт небезпечних по газу – виділяється до 5 м³ метану з 1 видобутої тонни вугілля;

2-а категорія – від 5 до 10 м³/т;

3-я категорія – від 10 до 15 м³/т;

надкатегорійні шахти – понад 15 м³/т.

Імовірно, газ (метан) у вугільному пласті може бути в трьох фазових станах:

– у газовій фазі – до тиску 16 атм (1,5 МПа);

– у рідкій фазі – при тиску вище 16 атм;

– у тверду (кристалічну) фазу може перейти у деяких хімічних сполуках (газогідрат тощо).

Звідси можна зробити висновок: газ може переходити з одного фазового стану в інший при зміні структури та параметрів напружено деформованого стану як у природних умовах формування осадового басейну (занурення вугільного пласта на все більшу глибину і нестационарний геодинамічний режим), і у процесах ведення прохідницьких і видобувних работ.

Та ж логіка справедлива і у варіанті існування (або новоутворення) зони дезінтеграції гірських порід у пласті, в межах якої гірський тиск мінімальний і, отже, газ у ній буде перебувати до рівня тиску 16 атм.

Найбільше значення має дослідження приватних та загальних закономірностей зв'язку еволюції структури та параметрів НДС та газового потоку в зоні взаємовпливу вироблення та гірничого масиву.

Найбільш небезпечним джерелом метану з позицій, неприпустимих з безпеки концентрацій, але неконтрольованих заздалегідь типовою системою АГК, є газ, що знаходиться у складі вугільного пласта в різних станах: адсорбованому твердому (а при великих тисках - кристалічному), газоподібному під великим тиском; у вигляді водно-газового флюїду і т. п., обумовлених геогазодинамічними характеристиками самого вугільного пласта вміщуючих порід.

Теоретичному обґрунтуванню взаємозв'язку параметрів вугільної товщі та вектора газового потоку в нормальних та критичних ситуаціях та присвячено зміст даного розділу.

Основні уявлення про зв'язок напруженого стану та газового потоку в гірському масиві

Відомі роботи, у яких розглядаються різні аспекти процесів газових течій у ході прохідницьких та видобуткових робіт. Найбільшу увагу дослідників займає проблема прогнозування варіантів надходження газу в атмосферу виробленого простору та сценаріїв розвитку геодинамічних явищ (ГДЯ) за участю газового тиску.

В обговорюваній проблемі відповідно до наведеної класифікації ГДЯ існує ключова ланка: якщо є фактичні свідчення поширення газу від джерела зони його накопичення або генерації в міру наближення до неї вироблення, то процесом поширення газового потоку і, отже, формуванням та розвитком ГДЯ за участю газового тиску управляє процес зміни структури та параметрів НДС у зоні впливу прохідницьких чи очисних робіт на гірничий масив.

Геомеханічний аналіз напружено-деформованого стану пласта в задачі "градієнт гірського тиску-газовий потік"

На даний момент модель напружено-деформованого стану масиву калібрується на інформацію про поточний рівень напруг у вибої, одержувану на основі буріння шпурів, а також вимірювання наведеної анізотропії швидкостей пружних хвиль у ближній зоні за даними

сейсмічного зондування. Подібний підхід, на жаль, не дозволяє врахувати глибину та розміри зони дезінтеграції, наявність неоднорідної структури тріщин між вугільних блоків. При цьому одним з ключових завдань, як і раніше, залишається визначення технологічних характеристик, при якому стінки вибою зберігатимуть свою стабільність.

Масив має свої характеристики (модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, щільність, кути внутрішнього тертя та дилатансії, межі міцності і плинності на розтяг і стиснення, питоме зчеплення, пористість, проникність, стисливість та ін.). Крім того, гірський масив знаходиться в напруженому стані, що визначається компонентами тензора напруг у кожній його точці. При проведенні видобувних та гірничопрохідницьких робіт у зоні взаємовпливу вироблення та масиву відбувається перерозподіл напруг, що формує динамічну систему «середовище-вироблення».

Першим наближенням для вирішення задачі стійкості стінок вибою стає аналітичне розв'язання задачі. Проте недоліками такого методу є невизначеності у вирішенні, пов'язані з неідеальною формою вироблення, складною геометрією пласта та зневагою неоднорідністю властивостей та дискретної структури масиву. Крім того, підхід, заснований на аналітичному вирішенні задачі про визначення ПДВ, що розглядає точне вирішення рівняння рівноваги у спрощеній постановці з низкою припущень (наприклад, лише випадок плоскої постановки вибою у вигляді кругового отвору та граничними умовами за напругою). Таким чином, як правило, розглядається:

- а) «поведінка матеріалу у лінійно пружній області;
- б) ідеальний круговий переріз штреку (зріз завжди береться нормально до осі штреку);
- в) плоский деформований стан;
- г) площини напластувань (за наявності), перпендикулярні до осі штреку.

Розглянутий у попередньому параграфі аналітичний метод розрахунку тиску в пласті має також обмежене застосування для реальних тривимірних моделей вугільного пласта та складної геометрії очисного вибою.

Аналіз НДС гірничого масиву стосовно вирішуваних у роботі завдань вимагає проведення кінцево-елементного моделювання. Тому стає важливим «застосування фундаментальних чисельно-аналітичних підходів до розрахунку напружень та деформацій у масиві. Програмне забезпечення CAE Fidesys дозволяє проводити тривимірний геомеханічний аналіз напруг як у вугільному пласті, так і в навколишніх породах з урахуванням заданої геометричної моделі вибою та викликаних його наявністю концентрацій напруг, іншими словами, пропонується розглядати процес взаємовпливу вугільної товщі та гірничого вироблення, представляючи сам масив у вигляді класичного поругруженого тіла, що має у своїй будові тріщини, шви, в яких може бути флюїд різного роду (рідина, газ, рідинно-газова суміш і т. п.). Певний напружений стан може стати причиною зсувної чи розривної поведінки масиву – появи вивалів, тріщин, динамічних ефектів (гірський удар, викиди вугілля тощо). Дані прояви руйнування гірського масиву під дією поля, що змінюється напруг при змінних у часі граничних умовах є причиною проблем та під час проведення гірничопрохідних робіт – вилучення вугілля, породи, буріння, кріплення. У зв'язку з цим стає актуальним завдання точної оцінки змінних у часі напруг у загальній тривимірній постановці.

Врахування всієї наявної інформації про геометрію вугільного пласта, включаючи його дискретну структуру та можливу наявність каверн (елементи карстових процесів), дозволяє вирішити задачу про рівновагу напружено деформованого стану в пласті та навколишніх породах у пов'язаній постановці – з урахуванням змінного тиску насичуючого газу та його впливу на НДС, а також змінної проникності (загалом анізотропної) внаслідок розвитку деформацій у пласті. Такий підхід дозволяє отримувати

додаткову інформацію про напругу в гірській породі навіть в умовах недоліку або низької якості даних, отриманих безпосередньо на вибої, що, найчастіше, притаманно проблемних, з погляду безпеки прохідницьких і видобувних робіт, зон.

Оцінка деформацій залежно від граничних умов тиску у вибої дозволяє істотно розширити можливості геомеханічного моделювання. Вирішити низку проблем стало можливим за допомогою чисельного моделювання у вітчизняній системі кінцево-елементного аналізу CAE Fidesys, на основі методу кінцевих елементів (МКЕ) або методу наближеного чисельного вирішення фізичних завдань. В його основі лежать дві головні ідеї: дискретизація досліджуваного об'єкта на кінцеву множину елементів і шматково-поліноміальна апроксимація досліджуваних функцій. Саме цей підхід відповідає реальній дискретній структурі шаруватої осадової товщі.

Основна відмінність МКЕ від класичних алгоритмів, заснованих на варіаційних принципах та методах зважених нев'язок, полягає у виборі базисних функцій. Вони беруться у вигляді шматково-гладких функцій, які звертаються в нуль усюди, крім обмежених підобластей, що є компактними носіями цих функцій. Це веде до розрідженої структури матриці коефіцієнтів підсумкової системи лінійних рівнянь алгебри (СЛАУ).

Основні переваги МКЕ:

- а) досліджувані об'єкти можуть мати будь-яку форму та різну фізичну природу – деформовані тверді тіла, рідини, газу;
- б) кінцеві елементи можуть мати різну форму, порядок та розміри, адаптивні тривимірні геометрії моделі;
- в) можна досліджувати однорідні та неоднорідні, ізотропні та анізотропні об'єкти з лінійними та нелінійними властивостями;
- г) можна вирішувати стаціонарні та нестаціонарні завдання;
- д) можна вирішувати контактні завдання на межах між блоками;

е) обчислювальний алгоритм, представлений у матричній формі, формально одноманітний для різних фізичних задач та для завдань різної розмірності, що зручно для комп'ютерного програмування;

ж) на одній і тій же сітці кінцевих елементів можна вирішувати різні фізичні завдання, що полегшує аналіз пов'язаних задач гідрогеомеханічного сполучення;

і) роздільна здатність система рівнянь має економічну розріджену матрицю «жорсткості», що прискорює обчислювальний процес на ЕОМ.

На другій стадії аналізованого підходу застосування ПЗ САЕ Fidesys для геомеханічного моделювання дозволяє підвищити точність визначення безпечних режимів прохідницьких та видобувних робіт, спрогнозувати виникнення вивалів та тріщин у стінках вибою, враховувати розвиток пластичних деформацій у пласті, оцінювати ризики, пов'язані з проходженням виробітку через структурні неоднорідності (зони дезінтеграції масиву); моделювати нестационарні ефекти (наприклад, поширення сейсмічних хвиль). Додатково це дозволить розширити область фізичних ефектів, що враховуються, і підвищити точність передбачення зон з підвищеним ризиком розвитку геогазодинамічних явищ на безпечному віддаленні від виробок.

Крім того, застосування апарату тривимірного кінцево-елементного моделювання дозволяє проводити розрахунок напруги і деформації в постановці з урахуванням динамічної зміни поля тиску газу, що насичує.

Оцінка деформацій вугільного пласта в залежності від тиску газу всередині нього, напрямки метанового потоку дозволяє розширити можливості геомеханічного моделювання та уточнити рекомендації до управління технологіями ведення гірничих робіт.

Розглянута в даній роботі геомеханічна модель блочнотріщинуватого середовища складається з двох взаємодіючих на різних масштабах континуумів – як і в стандартній моделі подвійної пористості один включає пористе середовище матеріалу блоків, другий відповідає

природним тріщинам між блоками. Далі моделюватимемо другий тип континууму що складається з декількох множин тріщин, у кожному множині міститься кілька однаково спрямованих тріщин з однаковою товщиною, але різним розподілом обсягом масиву. Кожна множина тріщин характеризується власним коефіцієнтом жорсткості, який визначає реакцію тріщин на прикладена напруга.

Вибрана геомеханічна модель взаємодіє із газодинамічною моделлю за допомогою обміну з певною частотою значеннями проникності блоків і тріщин, тисків у порах та тріщинах, насичених метаном. При цьому, не менш важливий ефект полягає у можливості контролю змін величини розкриття міжблокових тріщин і, можливо, їх напрямів, що дозволяє визначити у явному вигляді наведену НДС анізотропію тензора проникності.

Таким чином, одним із головних результатів використання геомеханічної моделі є пряме моделювання динамічної проникності, викликаній деформуванням блочно-тріщинуватого вугільного пласта у процесі фільтрації газу. При цьому, як уже зазначалося, моделювання та розрахунок параметрів НДС здійснюється у 2 етапи.

На першому етапі знаходяться ефективні механічні характеристики (еквівалентна матриця жорсткості) для кожної підобласті (пориста пружна матриця + системи тріщини всередині неї) на основі розв'язання серії задач на осередку періодичності. Далі на основі знайдених ефективних механічних параметрів у підобластях вирішується геомеханічне завдання про знаходження НДС у всій області. Потім йде зворотна процедура – на основі розрахованих глобальних напруг вирішуються серії завдань про навантаження матриці та тріщин у кожній з підобластей для визначення деформацій усередині матриці матеріалу блоків і розкриттів тріщин між ними, що відповідають поточному локальному ПДВ на околиці конкретної грані блоку. Нарешті, розраховані деформації матриці та розкриття тріщин використовуються при обчисленні нового тензора проникності вугільного

пласта. Розраховані проникності (матриці та міжблочні тріщини) передаються в газодинамічний симулятор на основі моделі подвійної проникності, який визначає поле тисків метану у всій моделі. Потім на основі розрахованих тисків у матриці та тріщинах визначається середній тиск у ефективному континуумі та повторюється розрахунок НДС та параметрів геомеханічної моделі. Рівняння для пористості у цьому підході не використовується.

У разі ітераційної пари описаний цикл повторюється в рамках одного кроку за часом до тих пір, поки не буде досягнуто збіжності між геомеханічним вирішувачем та газодинамічним симулятором. Для поліпшення збіжності внутрішніх ітерацій можна зафіксувати проникність тріщин (проникність матриці у своїй продовжує змінюватися) і робити їх перерахунок лише наприкінці поточного кроку за часом.

На підставі виконаного аналізу та відомих узагальнень з цієї проблеми слід відзначити найважливіші елементи природнотехнічної системи «масив гірських порід–підземне вироблення–газ» (гірський масив) у наступному вигляді:

- поточні параметри напружено-деформованого стану гірничого масиву з дискретною структурою формують динамічну систему «градієнт гірського тиску-газовий потік»;
- зони ризику розвитку динамічних явищ пов'язані із зонами газового насичення гірського масиву в периферійній області, що може бути просторовим та тимчасовим провісником небезпечних явищ.

Підкреслимо, що важливе твердження про можливість появи такого передвісника «автоматично» передбачає попереднє (дистанційне) знання структури проникності вугільного пласта і параметрів гірського тиску, інакше фактичні варіації метанообильності в шахтній атмосфері, спричинені багатьма супутніми факторами та порівняні з інтенсивністю провісників, не можуть бути прийняті за індикатори розвитку небезпечні газодинамічні явища.

5. СТРУКТУРА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В ПРОЦЕСАХ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ І ПРОГНОЗУ РОЗВИТКУ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПІДЗЕМНОМУ ПРОСТОРИ

Правила безпеки у вугільних шахтах (ПБ) та інші нормативні матеріали передбачають «використання інтелектуальних систем отримання інформації та управління нею на основі застосування сучасних технічних засобів телекомунікації у форматах єдиного комплексу контрольованих параметрів гірського середовища, критеріїв та регламенту управління цим станом, у тому числі технологією ведення гірничих робіт у вигляді багатофункціональної системи безпеки шахти.

При цьому значні завдання покладаються на функціонал систем контролю аерогазових режимів у гірничих виробках, безпечного стану гірничого масиву, прогнозу раптових викидів та гірських ударів, що передбачають проведення моніторингу геодинамічних, газодинамічних та техногенних процесів засобами сейсмічних, геофізичних та геомеханічних спостережень, врахуванням діючих систем аерогазового контролю, систем попередньої та поточної дегазації пласта.

Розвиток небезпечних геогазодинамічних явищ у вугільних шахтах визначається межами області активного впливу підземного вироблення на зміну структури та параметрів НДС гірського масиву в найбільш небезпечній зоні з радіусом у перші десятки метрів на околиці вибою вироблення, що вимагає застосування дистанційного методу безперервної оцінки параметрів НДС та випереджаючого прогнозу настання небезпечних ГДЯ з необхідним просторовим дозволом. При цьому швидкості розвитку ГДЯ суттєво випереджають швидкості проходки та кріплення вироблення, а сама небезпечна подія реалізується за неочевидним сценарієм інтерференції низки динамічних процесів у природно-технічній системі «геологічне середовище-виробка-кріплення».

Ще раз відзначимо важливу обставину: швидкості проходки підземних виробок по сучасним технологіям досягають рівня 20-30 метрів на добу, що породжує абсолютно нові та непередбачувані геомеханічні процеси на далеких дистанціях від місця ведення гірничотехнічних робіт.

З урахуванням цих важливих міркувань функціонал запропонованої геоінформаційної системи (далі ГІС МІКОН) має вирішувати в оперативному режимі такі основні завдання:

а) безперервну оцінку структури та параметрів НДС гірничого масиву в процесі ведення прохідницьких або видобувних гірничотехнічних робіт у ближній зоні вибою вироблення з радіусом не менше 100 метрів (з урахуванням конкретних геологічних та інфраструктурних умов);

б) визначення фактичних деформаційно-міцнісних властивостей вміщувального масиву та прогноз їх критичної зміни на всіх етапах підготовчих та видобувних робіт (безперервний та періодичний локальний контроль) стану масиву у небезпечних зонах виробок у межах шахтного поля);

в) організацію системного геотехнічного моніторингу інженерно-геологічних процесів та динамічних явищ у гірському масиві на денній поверхні та в підземному просторі в межах контуру шахтного поля (регіональний контроль усієї природно-технічної системи геологічне середовище–підроблений простір» на рівні масштабів 1:2000-1:5000);

г) організацію синхронного з геотехнічним моніторингом контролю нормативних показників АГК.

Важливе значення має максимальна уніфікація програмно-технічних модулів підсистем сейсмічного та аерогазового контролю. Останніми роками нові розробки було спрямовано створення стратегії об'єднання у єдиний інформаційний простір локальних (автономних) підсистем автоматизації, що випускаються вітчизняними та зарубіжними фірмами та заснованих на різноманітних програмнотехнічних рішеннях.

Для того щоб інформаційна система підприємства вирішувала завдання зниження загальної собівартості продукції і призводила до інтегрованого підвищення рівнів безпеки та економічної ефективності виробництва загалом, інформаційна система повинна включати такі компоненти:

- необхідна та достатня кількість уніфікованого польового та контролерного обладнання у всіх технологічних процесах, у тому числі, засобів оперативного дистанційного виявлення об'єктів ризику у гірничому масиві;
- універсальну та розвинену систему промислових комунікацій;
- ефективний комп'ютерний парк;
- сучасний програмний інструментарій;
- розвинену комунікаційну інфраструктуру підприємства та головної компанії з науковою підтримкою процесів підземного гірничого виробництва.

У попередніх розділах цієї роботи наведено аналіз обговорюваної проблеми, результати якого свідчать про необхідність включення до склад системи забезпечення безпеки та ефективності підземного виробництва апаратно-технічних засобів дистанційного сейсмічного виявлення об'єктів ризику в контурі шахтного поля як основного елемента функції прогнозу розвитку небезпечних ГДЯ. При цьому не можна не відзначити, що якщо виконується прогноз небезпечних ГДЯ, то функціонал системи має бути орієнтований на можливість технологічного втручання персоналу гірничих виробок для проведення необхідних заходів щодо запобігання аварійній ситуації. Ця обставина особливо актуальна у зв'язку з істотним підвищенням темпів прохідницьких і видобувних робіт.

З урахуванням названих обставин необхідна, зокрема, розробка геоінформаційної бази для забезпечення ефективного функціоналу підсистеми аерогазового контролю вугільних шахт на основі обліку структури та параметрів напруженого стану гірського масиву в зоні

впливу, що примикає до місця ведення видобувних та підготовчих робіт. Ключовими інформаційними блоками системи є фактографічна база даних та концептуальна база знань, отримана на основі формалізованого інтегрованого аналізу аерогазових та сейсмічних параметрів, переданих із фактографічної бази.

Характерні особливості контролю аерогазового стану гірських виробок (аерогазовий канал)

Структура ГІС МІКОН відображає формалізовану реалізацію геоінформаційної системи, базовою основою якої є два канали: аерогазовий та сейсмічний.

Аерогазовий канал («Мікон-АГК») є апаратно-програмним комплексом, призначеним для безперервного вимірювання параметрів стану промислових і гірничотехнологічних об'єктів, у тому числі параметрів рудничної атмосфери та мікроклімату, стану основного та допоміжного технологічного обладнання, передачі інформації на диспетчерський пункт, її обробки та відображення.

Мікон-АГК» дозволяє на основі використання єдиних технічних та програмних засобів реалізовувати різні системи централізованого диспетчерського та місцевого, ручного, автоматичного та автоматизованого контролю, моніторингу та управління. Об'єктами управління та контролю можуть бути шахтна атмосфера та мікроклімат, основне та допоміжне технологічне обладнання, транспортні та вентиляційні системи, системи електро-, пневмо- та водопостачання, системи пожежогасіння та ін.

Останній варіант каналу "Мікон-АГК" (система "Мікон-III") відноситься до третього покоління багатофункціональних шахтних інформаційно-керівних систем, сумісне з іншими системами АГК і відрізняється:

- наявністю високошвидкісної універсальної системи передачі інформації, яка є єдиною для всіх систем;

- застосуванням універсального шахтного контролера з розвиненими інженерними засобами програмування та налагодження;
- застосуванням датчиків з цифровим інтерфейсом.

Багатофункціональність системи заснована на використанні програмованих мікропроцесорних пристроїв у підземних виробках та на поверхні, застосуванні стандартних протоколів та інтерфейсів зв'язку, уніфікованих електричних сигналів, цифрових методів обробки, зберігання, передачі та подання інформації.

Реалізовані функції визначаються програмами роботи підземних та наземних обчислювальних пристроїв, набором та місцем розташування використовуваних датчиків, виконавчих пристроїв та пристроїв сигналізації. Область застосування – підземні вироблення шахт та рудників та їх наземні приміщення, у тому числі небезпечні по газу, пилу, раптовим викидам відповідно до нормативних документів.

Підсистема «Мікон-АГК» також, як і підсистема, що розглядається далі, має багаторівневу структуру, зокрема:

- на польовому рівні забезпечується безпосереднє сполучення системи з гірничотехнологічними та гірничотехнічними об'єктами та персоналом з допомогою датчиків, перетворювачів, сигналізуючих та виконавчих пристроїв, щитів, постів та панелей управління;

- контролерний рівень реалізується на підземних пристроях контролю та управління, які забезпечують перетворення сигналів, одержуваних від аналогових, дискретних та цифрових датчиків, формування та реалізацію керуючих сигналів для виконавчих та сигналізуючих пристроїв;

- комунікаційний рівень забезпечує обмін інформацією між пристроями польового, контролерного та диспетчерського рівнів;

- диспетчерський рівень реалізується на наземних комп'ютерах: серверах, які забезпечують високорівневий доступ до інформації, що збирається системою на об'єктах контролю.

Комплекс технічних засобів системи «Мікон-АГК» складається із стаціонарних, що встановлюються в підземних виробках датчиків, засобів контролю та управління, каналів зв'язку та засобів обробки, відображення та зберігання інформації на диспетчерському пункті.

Всі встановлювані в підземних виробках шахти технічні засоби системи та пов'язані з ними наземні технічні засоби, що мають маркування вибухозахисту, мають дозвіл на застосування в копальнях та вугільних шахтах, у тому числі небезпечних по газу та пилу.

Технічні засоби системи розділені: за просторовим становищем на підземні та наземні; за виконуваними функціями на: датчики, що сигналізують та виконавчі пристрої; підземні та наземні пристрої контролю та управління, обробки, зберігання та відображення інформації; канали зв'язку та джерела живлення.

Основним структурним елементом є система передачі, яка забезпечує роботу на двох рівнях зв'язку: високошвидкісний зв'язок (магістральний рівень); низькошвидкісний зв'язок (польовий рівень). Високошвидкісний зв'язок реалізується за допомогою технології DSL (мідні провідники) або Ethernet FX (оптичне волокно). Низькошвидкісний зв'язок реалізується з використанням технології RS-485 за мідними провідниками.

СПН забезпечує мережну інтеграцію: системи газоаналітичної шахтної багатофункціональної «Мікон-АГК», системи локального та поточного контролю гірського масиву «Мікон-ГЕО», системи позиціонування гірників і транспорту СПГТ-41, системи багатофункціонального зв'язку СМС «МАТИ», апаратуру контролю ефективності роботи газовідсмоктувальних установок та дегазаційних мереж «КОЛО».

Принципи побудови геоінформаційної моделі з функціями безперервного контролю стану стійкості гірського масиву та прогнозу розвитку небезпечних явищ

Прогноз виникнення та розвитку небезпечних геогазодинамічних процесів у будь-якій виробничо-технічній системі при відпрацюванні родовищ підземним способом реалізуємо лише з урахуванням стійкості гірничого масиву.

Принциповою фізичною основою для постановки та вирішення завдань оцінки стійкості гірського масиву є уявлення про структуру дискретності гірських порід. По суті, будь-яку тріщинну систему можна розглядати з двох точок зору: як систему плоских елементів порушення суцільності як систему окремих блоків, куди середовище розділилося в системах тріщин, замкнутах друг на друга. Друга думка дозволяє оперувати не з параметрами тріщин, які практично неможливо виміряти, а з параметрами блокової (дискретної) структури тих чи інших літологічних елементів.

Оскільки геометрія та фізичні властивості стратиграфічних та літологічних об'єктів у процесах підземної розробки встановлюються за фактом проходки виробок, то можна оцінити і параметри дискретної структури цих об'єктів у форматі геоінформаційної гірничогеологічної моделі з дискретною структурою. Як мовилося раніше попередніх розділах, перехід природно-технічної системи (ПТС) в динамічний стан із наступним руйнуванням підпорядковується блоковому механізму.

Нагадаємо, що ключовим поняттям розвитку деформаційних процесів в дискретних середовищах зі змінними напругами в околиці підземного вироблення є фрикційний механізм, який «дозволяє» кожному дискрету та їх ансамблям (блокам), що входять до об'єму середовища, що розглядається, деформуватися індивідуально за рахунок процесів прослизання. В свою чергу, фрикційний механізм, крім величини та знака зовнішнього силового впливу, керуватиметься коефіцієнтом тертя, величина якого пов'язана з «якістю» контактних площин блоків і з фазовим станом флюїду, що «змащує» ці контакти (газ, вода та інші заповнювачі пустотного простору).

Експериментальним шляхом встановлено, що в інтервалі глибин 0,2–10,0 км блоки (дискрети) гірської породи можуть спільно і лінійно деформуватися доти, доки виконується нерівність $\tau < 0,85\sigma$ (для «сухого» середовища), де τ – зсувна напруга, σ – нормальна напруга. Як тільки ця умова буде порушена, лінійна деформація перейде в нелінійну форму. За наявності «мастила» (вода, глинистий заповнювач, газ тощо) коефіцієнт тертя (0,85) істотно знизиться. За точкою можуть розпочатися процеси імпульсного характеру від «трісків» до гірських ударів і викидів.

Відповідно, інформаційний 3D-масив із відносними оцінками модуля градієнта тиску, що надходить у безперервному режимі контролю ГІС МІКОН в геоінформаційну базу даних при певних припущеннях може бути перетворений на масив значень закритих псевдозсувних напруги. Такий перехід у реальних геологічних та геодинамічних умовах може забезпечити цілком прийнятний прогностичний критерій оцінки рівня ризику розвитку небезпечних ГДЯ.

У загальному випадку набори контрольних параметрів можна використовувати в аналітичних розрахунках прогностичних критеріїв за ускладненим схем геомеханічного аналізу. Зауважимо, що для цілей аналітичних розрахунків, крім блокових параметричних моделей, потрібні і моделі в каркасних форматах геоінформаційної бази даних (геологічні, тектонічні, інфраструктурні об'єкти тощо).

Висновки

Фактично обговорюваного функціоналу геоінформаційної системи можна зробити такі висновки:

- поточні параметри напруженого стану гірського масиву дискретною структурою фіксуються на польовому рівні засобами реєстрації сейсмічних сигналів відбитих хвиль (сейсмічна оцінка градієнта гірничого тиску);

- оцінка градієнта гірського тиску в зоні впливу вироблення на гірський масив дозволяє своєчасно виявити зони дезінтеграції на необхідну дистанцію від вибою;

- оцінка градієнта гірського тиску та наведеної величини обсягу газів у зоні впливу підземного вироблення на гірський масив повною мірою забезпечується технологіями сейсмічної локації в сполученому режимі з системою штатного аерогазового контролю;

- безперервний контроль аерогазового стану шахтної атмосфери забезпечує аналіз тренду метанорясності з автоматичним фіксуванням можливих провісників прориву газу із виявлених зон дезінтеграції гірський масив.

6. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ЗАХОДІВ БОРОТЬБИ З МЕТАНОМ НА ВИЙМАЛЬНІЙ ДІЛЬНИЦІ

Загальні положення

Проектування, будівництво нових та реконструкція уже існуючих підприємств з видобутку вугілля потребує знань технологічних процесів, розуміння та врахування гірничо-геологічних умов, специфіки ведення гірничих робіт, вимог техніки безпеки та охорони праці.

І в зв'язку з тим, що шахта є небезпечною по газу (надкатегорійна), дуже гостро постає питання про можливі методи по дегазації в робочому просторі. Ця тематика включає в себе не просто питання технологічного характеру, а перш за все питання безпеки праці робітників під землею, що значною мірою визначається вибуховістю метаноповітряної суміші.

Одним з основних способів боротьби з метаном і забезпечення здорових і безпечних умов праці в шахті є вентиляція. Однак вона може бути ефективною для виймальної ділянки лише за умови правильного вибору і застосування схеми провітрювання з урахуванням газового балансу виймальної ділянки. Для цього виконаємо відповідні розрахунки.

Розрахунок очікуваного метановиділення

Розрахунок виконаний відповідно до «Керівництва з проектування вентиляції вугільних шахт» на підставі розрахунку «Визначення очікуваної газообильності очисного вироблення і виїмкової ділянки, витрати повітря, необхідного для провітрювання і припустимої по газовому факторі навантаження на очисний вибій».

Очікуване середнє метановиділення на виїмковій ділянці визначається:

$$\bar{I}_{уч} = \bar{I}_{уч.Ф} \cdot \frac{(L_{оч.Р})^{0,4}}{L_{оч.Ф}} \cdot \frac{(A_Р)^{0,6}}{A_Ф} \cdot k_{с.Р} \cdot k_{г.Р};$$

$I_{\text{уч.ф.}} = 19,5$ м/хв – загальне метановиділення виїмкової ділянки лави-аналога при середньодобовому видобутку 2122 т/добу (згідно спостереження співробітником МакНДІ).

$I_{\text{оч.р}}$ – довжина очисної виробки для якої розраховується очікуване метановиділення, м.

$$I_{\text{оч.р}} = 240 \text{ м.}$$

$I_{\text{оч.ф.}}$ – довжина очисної виробки, для якої визначене фактичне метановиділення, м.

$$I_{\text{оч.ф}} = 200 \text{ м.}$$

A_p – планований видобуток вугілля, т/добу.

$A_{\text{ф}}$ – середній видобуток вугілля при який визначалося фактичне метановиділення, т/добу.

$$A_{\text{ф}} = 2122 \text{ т/добу.}$$

$K_{\text{ср}}$ – коефіцієнт враховуючий зміну системи розробки

$K_{\text{гр}}$ – коефіцієнт враховуючий зміну метановиділення вироблення з глибиною; при веденні робіт на глибинах до 300 м нижче границі метанової зони приймається рівним одиниці при різниці глибин розробки до 20 м, при веденні робіт на глибинах більш 300 м нижче границі метанової зони приймається рівним одиниці при різниці глибин розробки до 50 м, а при великій різниці глибин визначається по формулі:

$$K_{\text{г.р}} = \frac{X_{\text{г.р.}} - X_{\text{ог.г.}}}{X_{\text{г}} - X_{\text{ог.г.}}};$$

де $X_{\text{г.р}}$ – природна метаноносність шару на планованій глибині розробки, м³/т с.б.м.; приймається по карті газоносності шару;

$X_{\text{г}}$ – природна метаноносність шару, м³/т с.б.м.; приймається на глибині, для якої визначене фактичне метановиділення, по карті газоносності шару;

$X_{\text{ог}}$ – залишкова метаноносність вугілля, м³/т с.б.м.;

$$K_{\text{г.р}} = \frac{24,8 - 2,4}{24,7 - 2,4} = 1,004$$

При навантаженні 2700 т/добу

$$\bar{I}_{уч} = 19,5 \cdot \frac{(240)^{0,4}}{200} \cdot \frac{(2700)^{0,6}}{2122} \cdot 1 \cdot 1,004 = 24,3 \text{ м}^3/\text{хв}$$

Газовий баланс виїмкової ділянки з урахуванням вказівок МакНДІ щодо розподілу метановиділення по його джерелах представлений у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. – Газовий баланс виїмкової ділянки

Джерело метановиділення	Абсолютне метановиділення,	Частка від загального метановиділення,
Розроблюваний пласт, $I_{пл}$	2,4	10
Вугільні пласти і породи в покрівлі, $I_{кр}$	18,3	75
Вугільні пласти і породи в ґрунті, $I_{п}$	3,6	15
Усього на ділянці, $I_{уч}$	24,3	100

Як видно із приведених даних, найбільшою часткою газового балансу виїмальної ділянки є метановиділення у вироблений простір, яке складає 75% від загального. Тому при такому розподілі метановиділень в межах виїмальної ділянки для її провітрювання необхідно застосувати прямоточну схему із підсвіженням вихідного струменя типу 3-В-Н-н-пт. Така схема дозволяє найбільш ефективно використати повітря, яке подається на виїмальну ділянку і при цьому забезпечити максимальну безпеку працюючим та максимальне навантаження на очисний вибій.

Розрахунок необхідної ефективності дегазації

Середній дебіт метану у вихідній струмені ділянки з урахуванням його нерівномірності повинний бути не більш:

$$I_{исх. доп} = \left(\frac{Q_{уч}}{194} \right)^{1,16} = \left(\frac{1281}{194} \right)^{1,16} = 8,9 \text{ м}^3/\text{хв}$$

Метановиділення з виробленого простору $I_{ш} = 21,9 \text{ м}^3/\text{хв}$ (згідно даних МакНДІ).

Засобами дегазації необхідно каптирувати не менш:

$I_{\text{дег}} = I_{\text{уч}} - I_{\text{исх. доп}} = 24,3 - 8,9 = 15,4 \text{ м}^3/\text{хв}$, що складає 70 % від газовиділення з виробленого простору.

Відповідно до розрахунку (Визначення очікуваної газообильності очисної виробки і виїмкової ділянки, витрати повітря, необхідного для провітрювання і припустимої по газовому фактору навантаження на очисний вибій 1 північної лави центральної панелі блоку 8), досвіду ведення робіт з дегазації вище розташованих порід і пластів - супутників у лаві-аналогі, рекомендаціям МакНДІ коефіцієнт ефективності дегазації складе 0,4.

Шпурами буде каптуватися 40 % метану, що виділяється з покрівлі:

$$I_{\text{скв}} = I_{\text{кр}} K_k = 18,3 \cdot 0,4 = 7,3 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Висока ефективність дегазації виробленого простору може бути досягнута тільки за умови каптування великої кількості газової суміші, що порушує питання про необхідність прокладки додаткового трубопроводу, підключеного до підземних вакуум-насосних установок, якими буде каптируватися газ з виробленого простору.

Розрахунок і вибір параметрів підземної вакуумнасосної установки

Для забезпечення необхідної продуктивності в роботі буде знаходитися одночасно два вакуум-насоси типу ВВН2-50М (максимальна продуктивність одного агрегату – $52,5 \text{ м}^3/\text{хвилину}$). При цьому згідно «Керівництва з дегазації вугільних шахт», с. 79, на два працюючих вакуум-насоса продуктивністю більше $50 \text{ м}^3/\text{хв}$. необхідно мати один резервний вакуум-насос.

Подача двох вакуум-насосів, що відсмоктують газ з виробленого простору по трубопроводу, визначається як корінь квадратного рівняння, отриманого при спільному рішенні рівнянь, що описують характеристику насоса і трубопроводу (згідно рекомендацій МакНДІ):

$$Q_H = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4a \cdot c}}{2a},$$

де a, b, c - коефіцієнти

$$a = \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot L_m}{d_m^{5,33}} + \frac{k_2^2}{n^2},$$

$$b = \frac{2 \cdot k_1 \cdot k_2}{n},$$

$$c = 577600 - k_f,$$

L_m – 3550 м - довжина трубопроводу;

d_m – 0,41 м - внутрішній діаметр трубопроводу

k_f – 38 – коефіцієнт рівняння характеристики насоса ВВН2-50

k_2 – 14,4 – коефіцієнт рівняння характеристики насоса ВВН2-50

n – 2 – кількість одночасно працюючих вакуум-насосів[^]

$$a = \frac{4,8 \cdot 10^{-5} \cdot 3550}{0,41^{5,33}} + \frac{14,4^2}{2^2} = 71,6$$

$$b = \frac{2 \cdot 38 \cdot 14,4}{2} = 547,2$$

$$c = 577600 - 38^2 = 576156$$

подача вакуум-насосів:

$$Q_H = \frac{-547,2 + \sqrt{547,2^2 + 4 \cdot 71,6 \cdot 576156}}{2 \cdot 71,6} = 85,9 \text{ м}^3/\text{хв}$$

Нормативні підсмоктування повітря в трубопровід згідно «Керівництва з дегазації вугільних шахт» складуть 1 м³/хв на 1000 м довжини трубопроводу. Отже, витрата газу на всасі трубопроводу складе:

$$Q_{BC} = 85,9 - 3,55 = 82,3 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Для визначення змісту метану в газі, що відсмоктується, і ефективності дегазації розрахуємо зміну витрати газової суміші у виробленому просторі і зміст у ньому метану:

$$Q_{CM.i} = Q_X + I_X$$

$$C_{ВП.i} = \frac{I_X \cdot 100}{Q_X + I_X}$$

Q_X – витрата повітря у виробленому просторі на i -тій відстані від очисного вибою, $\text{м}^3/\text{хв}$.

I_X – дебіт метану в тих же пунктах, $\text{м}^3/\text{хв}$.

$$Q_X = Q_{ym.e} \cdot \exp[(0,3 \cdot f - 4) \cdot 10^{-2} \cdot X]$$

$$I_X = I'_{en} \cdot \left(\frac{X}{L} + 1 \right) \cdot \exp\left(-\frac{X}{L} \right)$$

$Q_{ут.в}$ – витік повітря через вироблений простір, $\text{м}^3/\text{хв}$.

$$Q_{ym.e} = \left(1 - \frac{1}{k_{ym.e}} \right) \cdot Q_{уч}$$

$k_{ут.в} = 1,6$ – фактичний коефіцієнт, що враховує витоки повітря через вироблений простір. Отриманий співробітниками МакНДІ експериментально в лаві - аналогу.

$$Q_{ym.e} = \left(1 - \frac{1}{1,6} \right) \cdot 1281 = 480 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

$f = 7,4$ – середня міцність обвалених порід покрівлі;

L – відстань від вибою лави, на якому метановиділення зі зближених шарів максимальне:

$$L = 9 + 0,81M_{cp},$$

$M_{cp} = 56,7$ м (згідно рекомендацій МакНДІ) – середньозважена по потужності відстань до зближених пластів у покрівлі:

$$L = 9 + 0,81 \cdot 56,7 = 54,9 \text{ м};$$

$I'_{ВП}$ – метановиділення у вироблений простір зі зближених пластів і порід з урахуванням дегазації покрівлі шпурами:

$$I'_{en} = I_{KP} \cdot (1 - k_{KP}) + I_n$$

$$I'_{en} = 18,3 \cdot (1 - 0,4) + 3,6 = 14,6 \text{ м}^3/\text{хв.}$$

$K_{кр} = 0,4$ – коефіцієнт ефективності дегазації порід покрівлі за допомогою пробурених шпурів;

$$Q_X = 480 \cdot \exp[(0,3 \cdot 7,4 - 4) \cdot 10^{-2} \cdot X]$$

$$Q_X = 480 \cdot \exp[-0,0178 \cdot X]$$

$$I_X = 14,6 \cdot \left(\frac{X}{54,9} + 1 \right) \cdot \exp\left(-\frac{X}{54,9}\right)$$

$$I_X = 14,6 \cdot (0,0182 \cdot X + 1) \cdot \exp(-0,0182 \cdot X)$$

X – відстань від вибою лави.

Зведемо результати розрахунків у таблицю 6.2.

Таблиця 6.2. – Витрата газової суміші, дебіту і змісту метану у виробленому просторі 1 північної лави центральної панелі блоку 8

Відстань від вибою, м	Витрата повітря, м ³ /хв	Дебіт метану, м ³ /хв	Зміст метану, %	Витрата газової суміші, м ³ /хв
0	480	14,6	2,95	494,6
10	401,7	14,4	3,46	416,4
20	336,2	13,8	3,95	350
30	281,4	13,1	4,45	294,5
40	235,5	12,2	4,93	247,7
50	197,1	11,2	5,38	208,3
60	165	10,2	5,82	175,2
70	138	9,3	6,31	147,3
80	115,6	8,4	6,77	124
90	96,7	7,5	7,20	104,2
100	80,9	6,7	7,65	87,6
103	76,7	6,4	7,70	83,1
104	75,4	6,3	7,71	81,7
105	74,1	6,3	7,84	80,4
ПО	67,7	5,9	8,02	73,6
120	56,7	5,2	8,40	61,9
130	47,5	4,6	8,83	52,1
140	39,7	4Д	9,36	43,8

Графіки залежності дебіту метану, витрати суміші, концентрації метану від відстані до вибою представлені на рисунках:

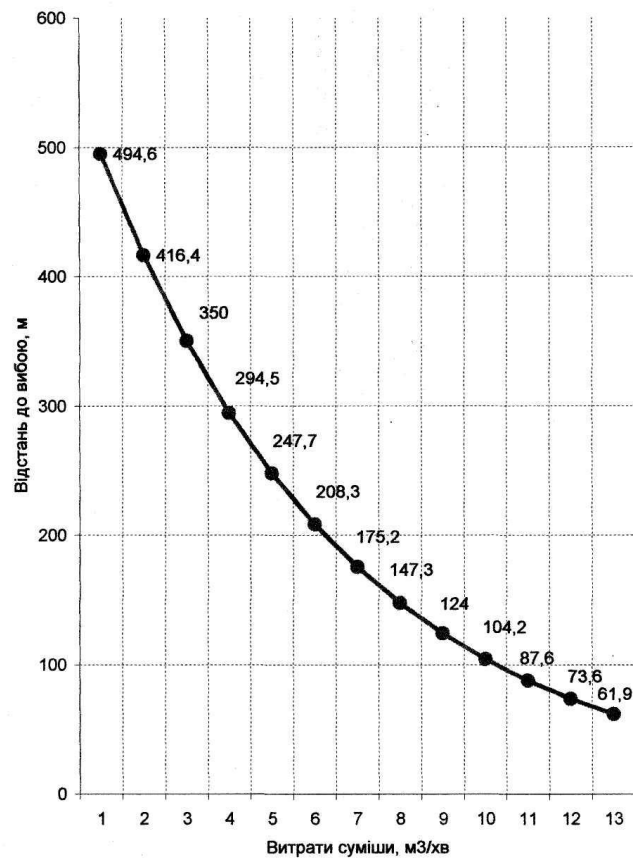


Рис. 6.1. Залежність витрати суміші від відстані до вибою

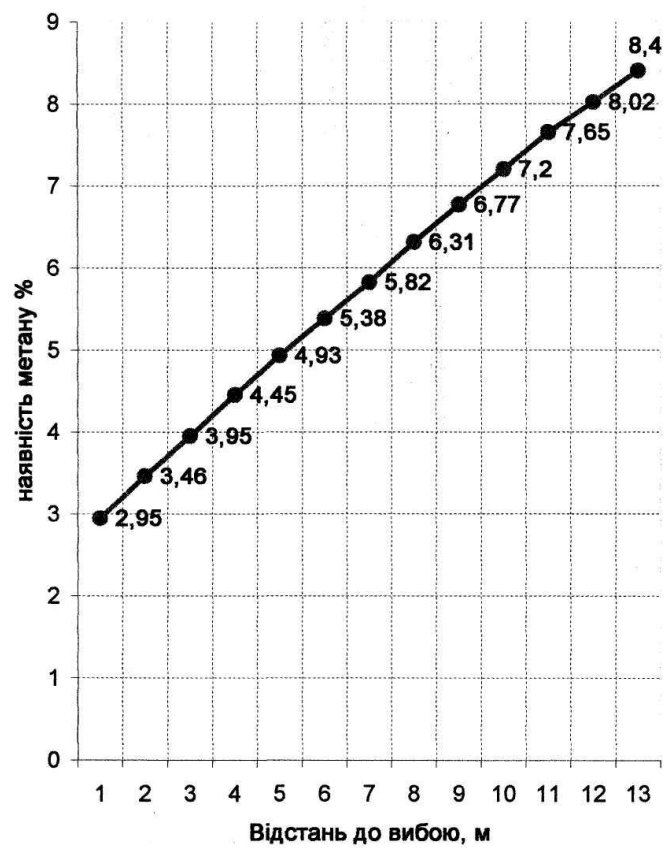


Рис. 6.2. - Залежність концентрації метану від відстані до вибою.

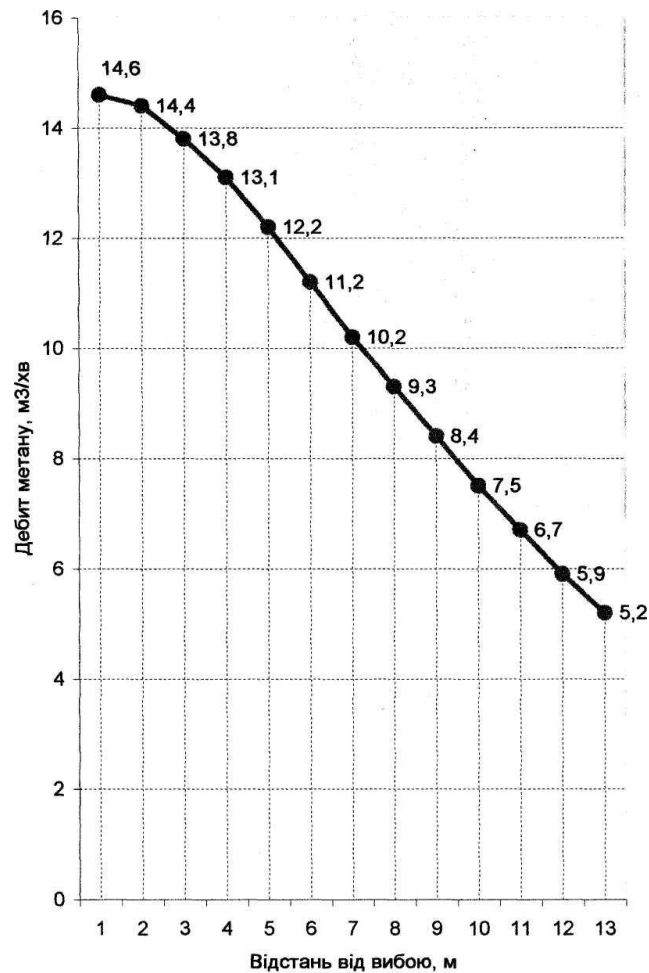


Рис. 6.3. - Залежність дебіту метану від відстані до вибою.

Як видно з представлених залежностей і графіків зміст метану в місці, що відповідає витраті газу, що відсмоктується, (82,3 м³/хв) дорівнює 7,7 % на відстані 103 м від вибою.

Якщо усмоктувальний кінець трубопроводу буде розташований далі 103 м, то дебіт метану, що відсмоктується, буде не менш

$$I_{CB} = \frac{Q_{BC} \cdot C_{BC}}{100} = \frac{82,3 \cdot 7,7}{100} = 6,3 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Ефективність дегазації виробленого простору при цьому складе:

$$k_{\text{дег. в. п.}} = \frac{I_{CB}}{I'_{\text{сп}}} = \frac{6,3}{14,6} = 0,43$$

Загальна ефективність дегазації

$$k_{\text{дег. общ.}} = \frac{I_{CB} + I_{CKB}}{I_{\text{сп}}} = \frac{6,3 + 7,3}{21,9} = 0,62$$

З виробленого простору в тупик вентиляційного штреку буде виділятися наступна кількість метану:

$$I_{\text{туп}} = I_{\text{в.п.}} - I_{\text{СКВ}} - I_{\text{СВ}}.$$

$$I_{\text{туп}} = 21,9 - 6,3 - 7,3 = 8,33 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Середній зміст метану в тупику вентиляційного штреку складе:

$$C_{\text{м.}} = \frac{100 \cdot I_{\text{м}}}{Q_{\text{м}}}$$

$$Q_{\text{м.}} = Q_{\text{УТ.В.}} - (Q_{\text{СВ}} - I_{\text{СВ}})$$

$$Q_{\text{м.}} = 480 - (82,3 - 6,3) = 404 \text{ м}^3/\text{хв}$$

$$C_{\text{м.}} = \frac{100 \cdot 8,33}{404} = 2,1\%$$

Дегазація покрівлі шпурами і виробленого простору «свічами» не забезпечує газову безпеку на ділянці. Тому додатково варто застосовувати ізолюваний відвід метану з тупика вентиляційного штреку за допомогою газовідсмоктуючих вентиляторів ВМЦГ-7М.

Витрата повітря на всасі газовідводячого трубопроводу:

$$Q_{\text{ТР.}} = \frac{100}{C_{\text{М}} - C_{\text{О}}} \cdot \bar{I}_{\text{ВП}} \cdot k'_{\text{двп}} \cdot k_{\text{Н}} \cdot (1 - k_{\text{Д ОБЩ.}})$$

де $k'_{\text{д.в.п.}} = 0,7$ – коефіцієнт ефективності ізолюваного відводу метану, при якому виключаються небезпечні скупчення метану;

$k_{\text{Н}}$ – коефіцієнт нерівномірності метановиділення;

$k_{\text{ДОБЩ}}$ – загальний коефіцієнт дегазації

$$Q_{\text{ТР.}} = \frac{100}{3,5 - 0,05} \cdot 21,9 \cdot 0,7 \cdot 1,28 \cdot (1 - 0,62) = 216 \text{ м}^3/\text{хв}$$

По трубопроводу буде приділятися така кількість метану:

$$I_{\text{тр.}} = \frac{Q_{\text{тр.}} \cdot (C - C_{\text{О}})}{100 \cdot k_{\text{Н}}};$$

$$I_{\text{тр.}} = \frac{216 \cdot (3,5 - 0,05)}{100 \cdot 1,28} = 5,82 \text{ м}^3/\text{хв};$$

Кількість метану, що буде виділятися у вентиляційний штрек:

$$I_{исх} = I_{уч} - I_{скв} - I_{св} - I_{тр} = 24,3 - 6,3 - 7,3 - 5,8 = 4,9 \text{ м}^3/\text{хв};$$

Необхідна витрата повітря у вихідній струмені ділянки:

$$Q_{исх} \geq 100 \cdot I_{исх} \cdot 1,94 \cdot I_{исх}^{-0,14};$$

$$Q_{исх} \geq 100 \cdot 4,9 \cdot 1,94 \cdot 4,9^{-0,14} = 760,9 \text{ м}^3/\text{хв};$$

Фактично у вихідну струю ділянки буде надходити:

$$Q_{исх \text{ факт}} = Q_{уч} - Q_{тр} - (Q_{св} - I_{св});$$

$$Q_{исх \text{ факт}} = 1281 - 216 - (82,3 - 6,3) = 989 \text{ м}^3/\text{хв};$$

Дана величина на 228,1 м³/хв. більше необхідної.

Тиск в усмоктувальному патрубку насоса:

$$P_{ес} = k_1 + \frac{k_2 \cdot Q_n}{n};$$

$k_x = 38$ – коефіцієнт рівняння характеристики насоса ВВН2-50,

$k_2 = 14,4$ – коефіцієнт рівняння характеристики насоса ВВН2-50,

$n = 2$ – кількість одночасна працюючих вакуум-насосів.

$$P_{ес} = 38 + \frac{14,4 \cdot 82,3}{2} = 630,56 \text{ мм.рт.ст};$$

Таким чином, на даній виїмковій ділянці для боротьби з виділенням метану будуть використовуватися:

- дегазація шарів-супутників – 7,3 м³/хвилину,
- відвід газу за допомогою підземної вакуум-насосної установки – 6,3 м³/хв.,
- ізолюваний відвід метану по трубопроводу Ø800 мм - 5,82 м³/хв.

Ми забираємо кількість газу рівну 19,42 м³/хв., що значно менше розраховано раніше припустимого метановиділення на ділянку – 8,9 м³/хвилину.

Отже, при використанні вищевказаних заходів для боротьби з газом - метаном, забезпечується безпечна робота виїмкової ділянки.

Схема відводу метану за допомогою ОДУ

Після відходу лави на 30 м включається в роботу став газовідсосу Ø426 мм. Відвід метаноповітряної суміші з тупика вентиляційного штреку 1 північної лави центральної панелі блоку 8 шару d₄ передбачено здійснювати по одній гілці трубопроводу, змонтованого по вентиляційному штреку 1 північної лави центральної панелі блоку 8 і конвеєрному ухилу № 1 блоку 5 з металевих труб Ø 425 мм.

За рахунок створюваного розрідження метаноповітряна суміш з виробленого простору буде надходити в тупик вентиляційного штреку 1 північної лави центральної панелі блоку 8 і відсмоктується за допомогою підземних вакуум-насосів типу ВВН2-50М (2 працюючих і 1 резервний вакуум-насос на 1 трубопровід).

Метаноповітряна суміш буде видаватися через змішувальну камеру у вихідну струмінь повітря, що проходить по головному стволу шахти.

Технічний опис вакуумних насосів

Вакуумний насос ВВН2-50М – водокільцева машина, призначена для створення вакууму. Робочою рідиною у ВВН2-50М служить вода.

Даний насос забезпечує продуктивність – 0,875 м³/хв (52,5 м³/хв) при абсолютному тиску усмоктування 0,02 МПа, температурі усмоктуваного газу – 293 К (20° С), температурі води, що надходить, 288 К (15°С). При зменшенні тиску усмоктування в два рази продуктивність зменшується на 20 %. При цьому питома потужність складе 81 кВт·с/м³ (1,35 кВт·хв/м³), а витрата води – 1,167·10³ м³/с (70 л/хв).

Заходи безпеки

1. Для відводу метану повинні застосовуватися сталеві труби з товщиною стінки не менш 2,5 мм, змонтовані за допомогою фланцевих з'єднань чи муфт.

2. Усі знову змонтовані трубопроводи повинні випробуватися на щільність під розрідженням 100 мм. рт. ст. Газопровід вважається витримавшим іспит, якщо збільшення тиску в ньому за перші 30

хвилин після його перекриття не перевищує 10 мм. рт. ст.

3. Трубопровід повинний витримати тиск 0,6 МПа.

4. На дільничних газопроводах, у місцях їхнього з'єднання з магістральними, а також на усіх відгалуженнях від дільничного газопроводу повинні встановлюватися засувки.

5. Трубопроводи повинні оглядатися не менш одного разу в тиждень.

Виявлені не щільності і вигини трубопроводів, у яких можливе скупчення води, повинні негайно усуватися.

6. Забороняється засипати трубопроводи продовжені в діючих виробленнях, породюю, завалювати їх лісом, а також використовувати їх як опорні конструкції і заземлювачі.

ВИСНОВКИ

Таким чином, виходячи з приведених розрахунків і прийнятих рішень усього на даній ділянці будуть використовуватися:

- схема провітрювання З-В-Н-н-пт;
- дегазація пластів-супутників;
- відвід метану за допомогою підземної вакуум-насосної установки;
- ізолюваний відвід метану по трубопроводу Ø800 мм.

Все це за думкою автора допоможе у вирішенні питань безпеки технології праці робітників, а крім того підвищить навантаження на очисний вибій, не обмежуючи його по газовому фактору, тим самим повністю забезпечить використання можливостей застосовуємого технічного обладнання.

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Абдрахманов, М. И. Применение алгоритмов кластеризации для экспрессанализа сейсмических данных/ М. И. Абдрахманов, С. Э. Лапин, И. В. Шнайдер// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. - № 6. – С. 27-44.
2. Абрамов, И. Л. Виды и причины газодинамических явлений на угольных шахтах/ И. Л. Абрамов// Горнопромышленная и нефтегазовая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр. – 2014. - С.16-17.
3. Аллахвердиев, Рамиз Насиб Оглы. Особенности автоматизации технологического процесса на нефтегазовых предприятиях/ Р. Н. О. Аллахвердиев, А. М. Г. Мехтиева// Известия Нана. Серия: Наука и инновация. – Баку: издво Центр научных инноваций национальной академии наук Азербайджана, 2011. - № 1 (5). С. 41-45.
4. Бабенко А. Г. Теоретическое обоснование и методология повышения уровня охраны труда в угольных шахтах на основе риск-ориентированного подхода и многофункциональных систем безопасности: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.26.01/ Бабенко Александр Григорьевич. – Спб, 2016. – 259 с.
5. Бабенко, А. Г. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт/А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин// Доклад на республиканской конференции «Методы контроля и прогноза развития геодинамических явлений в процессах разработки месторождений твердого и углеводородного сырья». – Екатеринбург, УГГУ, 16-17 апреля 2015 г.
6. Бабенко, А. Г. Основы построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт/ А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин // Сборник тезисов докладов III Междунар. научно-практич. конф. «ТЕХГОРМЕТ – 21 ВЕК» «Современные технологии управления процессами добычи и переработки полезных ископаемых». – Санкт-Петербург: изд-во Нац. минерально-сырьевого университета «Горный», 15-16 октября 2012 г. – С. 36-38.

7. Бабенко, А. Г. Системы комплексной безопасности горного производства/А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин// Технадзор. – 2008. - № 12. – С. 26-27.
8. Бабенко, А. Г. Новое поколение информационно-управляющих систем и средств обеспечения безопасности на угольных шахтах/А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин//Известия вузов. Горный журнал. – 2010. - № 1. - С. 73-84.
9. Бабенко, А. Г. Принципы построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт, опыт и перспективы их использования в Кузбассе/А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин, А. В. Вильгельм и др.//Безопасность труда в промышленности. - 2011. - № 1. - С. 16-22.
10. Баренблатт, Г. И. Движение жидкостей и газов в природных пластах/Г. И. Баренблатт, В. М. Рыжик. – М.: Недра, 1984.- 211с.
11. Большинский, М. И. Газодинамические явления в шахтах / М. И. Большинский, Б. А. Лысиков, А.А. Каплюхин. – Севастополь: Вебер, 2003. – 284 с.
12. Булычев, Н. С. Механика подземных сооружений/Н. С.Булычев. - М.: Недра, 1994. - С. 380.
13. Вершинин, А. В. Моделирование гидрогеомеханических пластовых процессов путем внешнего сопряжения специализированных вычислительных пакетов и универсальной САЕ FIDESYS/ А. В. Вершинин, Д. И. Сабитов, Ф. З. Ишбулатович, А. В. Мясников// Чебышевский сборник. – Тула: Изд-во Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, 2017. – Т. 18. - № 3 (63). – С. - 154-187.
14. Вершинин, А. В. Математические модели и пакет прочностного инженерного анализа: дисс. ...д-ра физ.-мат. наук: 05.13.18/ Вершинин Анатолий Викторович. – М., 2018. – 731 с.
15. Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности Научно-технический журнал Кемерово 1-2016.

16. Власов, С. В. Методика и технология 3D-3С сейсмических исследований геологического строения и мониторинга состояния устойчивости горного массива в процессе проходки транспортных тоннелей: в условиях г. Большой Сочи: дисс. ...канд. геол.- мин. наук: 25.00.10/ Власов Сергей Викторович. – Екатеринбург, 2012. – 132 с.
17. Гзовский, М. А. Основы тектонофизики/М. А. Гзовский. – М.: Наука, 1975. - 535 с.
18. Глушук, П. С. Система сбора и представления информации о качестве изготовления кабельного изделия: дисс. ... канд. техн. наук: 05.11.13/Глушук Павел Сергеевич. – Томск, 2008. – 157 с.
19. Горное дело: Терминологический словарь. 4-е изд, перераб. и доп. / Г. Д. Лидин, Л. Д. Воронина, Д. Ф. Каплунов и др. — М.: Недра, 1990. – 694 с.
20. ГОСТ Р 55154-2012. Оборудование горно-шахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Общие технические требования. - М. : Стандартинформ, 2014. - 24 с.
21. Гуревич, Г. И. К вопросу о механизме разделения пластов горных пород на блоки/Г. И. Гуревич// Известия РАН. Серия геофизическая. – М., 1954. – № 5. – С. 411-416.
22. Дияшев, Р. Н., Костерин А.В., Скворцов Э.В., 1999. Фильтрация жидкости в деформируемых нефтяных пластах/ Р. Н. Дияшев, А. В. Костерин Э. В. Скворцов. – Казань: изд-во Казан. мат. об-ва, 1999. – 238 с.
23. Журавлев, Е. И. Разработка геоинформационной системы прогнозирования динамических проявлений в углевмещающем массиве при подземной разработке угольных: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.35/ Журавлев Евгений Игоревич. – М., 2016. – 19 с.
24. Захаров, В. Н. Геоинформационное обеспечение и комплексный мониторинг гео- и газодинамических процессов при высокоинтенсивной подземной добыче угля/ В. Н. Захаров// Рациональное освоение недр. – М.:

Научно-информационный издательский центр «Недра-XXI», 2012. - № 3. – С. - 50-54.

25. Золотарёв, В. Н. Новое поколение сейсмических станций для инженерных геофизических исследований - SGD-SEL96 CMP, SGD-SEL488, SGDSEL48 CMP, SGD-SEL24 AE, SGD-SET И SGD- SMT «TUNNEL» / В. Н. Золотарёв, А.Б. Ревунов, И. Л. Сорокин, Д. В. Сыроватин, В.П. Черепанов// Приборы и системы разведочной геофизики. – Саратов: ИнформГеофизСервис, 2012. – Т. 41. - № 3. – С. - 10-25.

26. Зотеев, В. Г. Метод и программа расчета напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов горных выработок в сплошном и трещиноватом массиве/ В. Г. Зотеев, О. В. Зотеев А. Ф. Ножин// Численные методы оценки устойчивости подземных сооружений: Сборник научных трудов. – Апатиты: ИГД КФАН, 1988. - С. 33 – 36.

27. Зудилин, А. Э. Функционал системы оценки состояния горного массива/ А.Э. Зудилин, Ю. В. Патрушев, А. В. Александрова// Известия вузов. Горный журнал. – 2012. - № 5. - С. 102-105.

28. Зыков, В. С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах/ В. С. Зыков. – Кемерово: НТЦ «Восточный», 2010. – 333 с.

29. Зыков, В. С. Научные проблемы борьбы с газодинамическими проявлениями в угольных шахтах Кузбасса / В. С. Зыков // Маркшейдерия и недропользование. - 2011. – № 3. – С. 57-59.

30. Зыков, В. С. Статистика динамических явлений в шахтах и уточнение их классификации/ В.С. Зыков, И. Л. Абрамов, Д. В. Торгунаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. - Отдельный выпуск № 6. - С. 297-319.

31. Зыков, В. С. Уточнение классификации динамических явлений в угольных шахтах/ В. С. Зыков, И.Л. Абрамов / Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2015. - № 3. - С.74-83.

32. Зыков, В.С., Динамические явления в угольных шахтах и их классификация / Зыков В.С., Абрамов И. Л.// Маркшейдерия и недропользование. - 2012. - № 4. - С. 56 - 60.
33. Исаев, А. В., 1983. Разработка метода оценки напряженного состояния удароопасных пород по дискованию керна и выходу буровой мелочи: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.11/ Исаев Александр Васильевич. – Ленинград, 1983.
34. Карасевич, А. М. Сейсморазведка при изучении метанугольного разреза/ А. М. Карасевич, Д. П.Земцова, А. А.Никитин. - М., 2008. – 168 с.
35. Каркашадзе, Г.Г., Результаты определения пластового давления, газопроницаемости и параметров сорбции угольного пласта по результатам шахтных измерений истечения метана из коротких скважин/ Г. Г. Каркашадзе, Е. В. Мазаник, П. Н. Пащенко // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2016. - № 9. - С. 259-264.
36. Карякин, А. Л. Аппаратура шахтной автоматики, стволовой сигнализации и связи «ШАСС Микон»/А. Л. Карякин, С. Э. Лапин, М. Е. Садовников// Безопасность труда в промышленности. - 2007. - № 5. - С. 39-41.
37. Карякин, А. Л. Многофункциональный информационно-управляющий комплекс «Микон 1Р» /А. Л. Карякин, А. Г. Бабенко, С. Э. Лапин и др. // Известия вузов. Горный журнал. - 1999. - № 11-12. - С. 83-91.
38. Клишин, В. И. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений / В. И. Клишин, Л. В. Зворыгин, А. В. Лебедев и др. – Новосибирск: «Новосибирский писатель», 2011. – 524 с.
39. Корнилков, С. В. Концепция и результаты прогноза опасных геодинамических явлений в процессах ведения подземных горных работ/ С. В. Корнилков, В. Б. Писецкий, А. Д. Сашурин, Э. С. Лапин, С. Э. Лапин // В сб. трудов 13-й научно-практической международной конференции «Инженерная геофизика 2017», EAGE, г. Кисловодск. - Кисловодск, 2017.

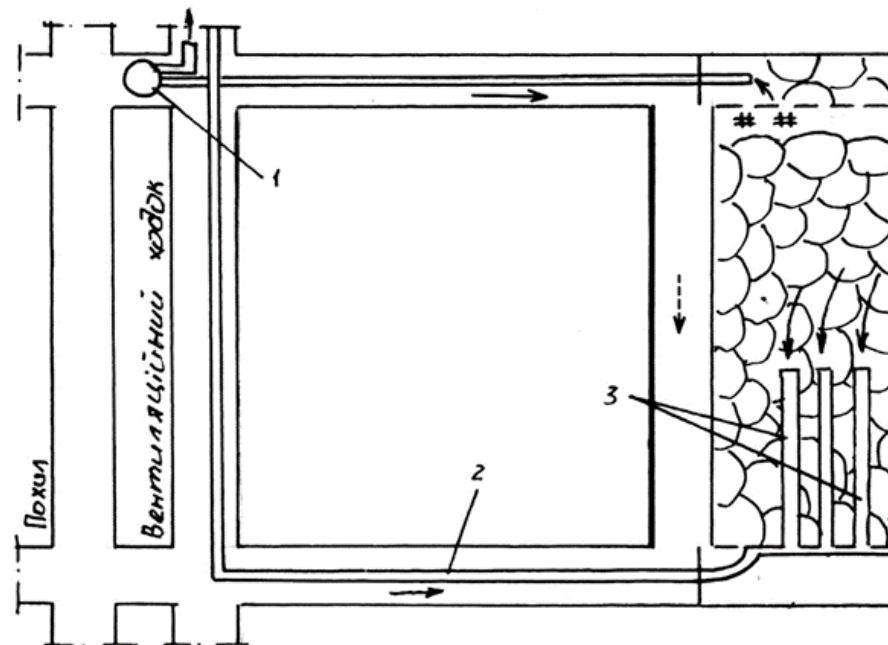
40. Костерин, А. В. Напряженно-деформированное состояние горных пород и фильтрация в неоднородных пластах/ А. В. Костерин, Э. В. Скворцов, М. М. Торопова // Вычислительные технологии. – Новосибирск: Изд-во: Институт вычислительных технологий СО РАН, 1999. - Т.4. - №2. - С. 42-50.
41. Кубрин, С. С. Разработка геотехнологического кластера безопасного освоения опасных по гео и газодинамическим явлениям угольных пластов/ С. С. Кубрин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: «Горная книга», 2013. - № S5. - С. 68-84. 228
42. Кубрин, С. С. Автоматизированная система поддержки принятия технологических решений и комплексного синтезирующего мониторинга/ С. С. Кубрин, Е. В. Мазаник, Н. Н. Кигалов // Горный информационноаналитический бюллетень. – М.: «Горная книга», 2014. - № S1. - С. 267-278.
43. Кузьменко, С. О. Analysis and forecast safety threats at mining enterprises/С. О. Кузьменко, А. В. Вильгельм, С. Э. Лапин // Сборник трудов 21-о всемирного горного конгресса, г. Краков, Польша, 7-11 сентября 2008 г. – С.113-119.
44. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. Теория упругости. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - 4-е изд., испр. –М.: Наука, 1987. – Т.7. - 248 с.
45. Лапин, С. Э. О структуре системы и модели прогноза горных ударов при подземных работах/ С. Э. Лапин, Р. Е. Леонов Э. С. Лапин//Материалы X Межотраслевого координационного совещания по проблемам геодинамической безопасности. - Екатеринбург, 6-9 октября 1997. – С. 108-112.
46. Лапин, С. Э. Разработка и исследование методов прогноза опасного состояния шахтной атмосферы в автоматизированной системе контроля: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.06/Лапин Сергей Эдуардович. – Екатеринбург, 2002. – 220 с.

47. Лапин, С. Э. Результаты технологического применения сейсмического метода дистанционной оценки риска потери прочности горного массива в процессе ведения подземных горных работ/ С. Э. Лапин, В. Б. Писецкий, Ю. В. Патрушев, С.М. Чевдарь// Научно-практическая конференция «Сейсмические технологии-2016» – Москва, Россия, 18-20 апреля 2016 г.
48. Лапин, С. Э. Структура системы прогноза опасных геодинамических явлений при подземных работах на основе статистической модели разрушения горного массива/ С. Э. Лапин, Э. С. Лапин, Р. Е. Леонов // Труды 13-й Междунар. конф. «Автоматизация в горном деле» «ИСАМС-98», 13-й Международной конференции по управлению производственным процессом и моделированию. Республика Словакия, 8-11 сентября 1998. - С. 121-125.
49. Лапин, С. Э. Экспериментальное исследование системы «Микон-Гео» на шахте «Алмазная»/С. Э. Лапин, А. В. Александрова, Ю. В. Патрушев// Безопасность труда в промышленности. - 2012. - № 6. - С. 44-47.
50. Лапин, С. Э. Выделение значимых факторов при моделировании горных объектов/С. Э. Лапин, Р. Е. Леонов// Известия вузов. Горный журнал. - 2019. - № 2. -С. 140 – 145.

ДОДАТКИ

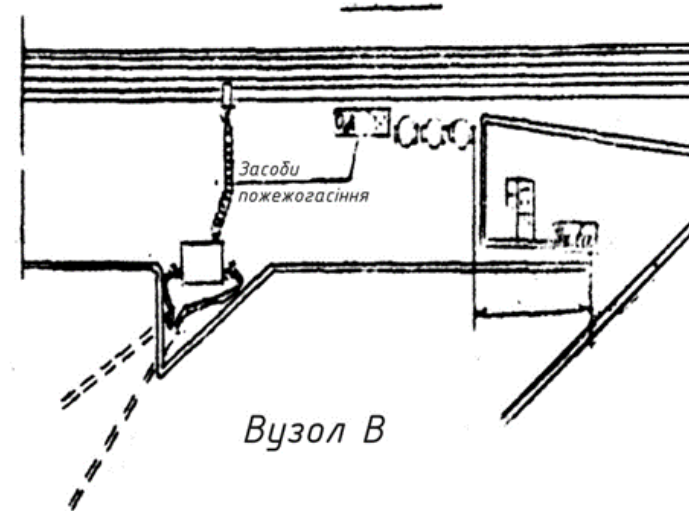
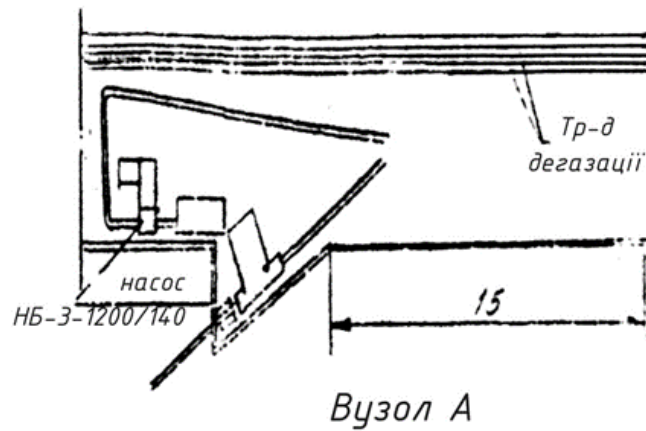
РОЗРОБКА СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИДІЛЕННЯ МЕТАНУ З ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ В ВИЇМКОВУ ДІЛЬНИЦЮ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Схема дегазації на виїмальній ділянці



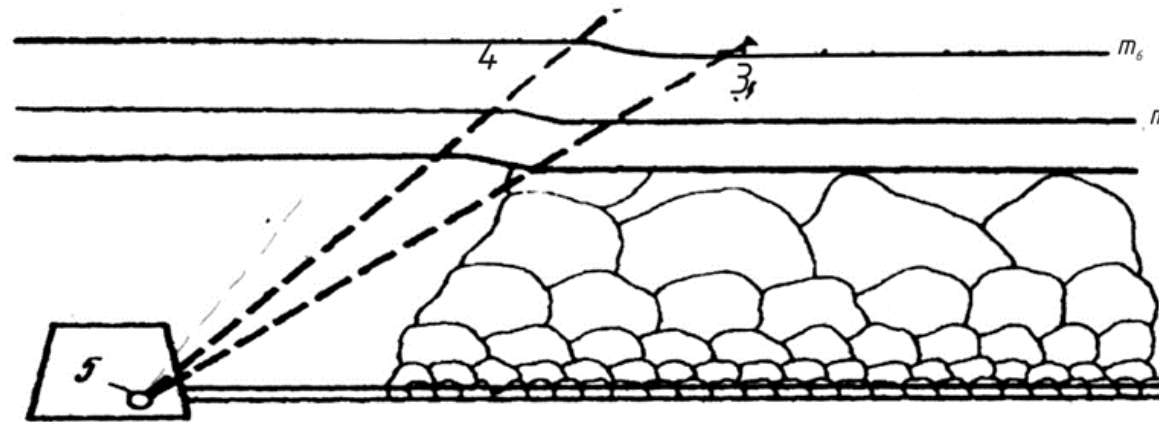
1. ВМЦГ-7М 2. Дегаз. трубопровід 3. Перфоровані труби

РОЗРОБКА СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИДІЛЕННЯ МЕТАНУ З ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ В ВИЇМКОВУ ДІЛЬНИЦЮ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ



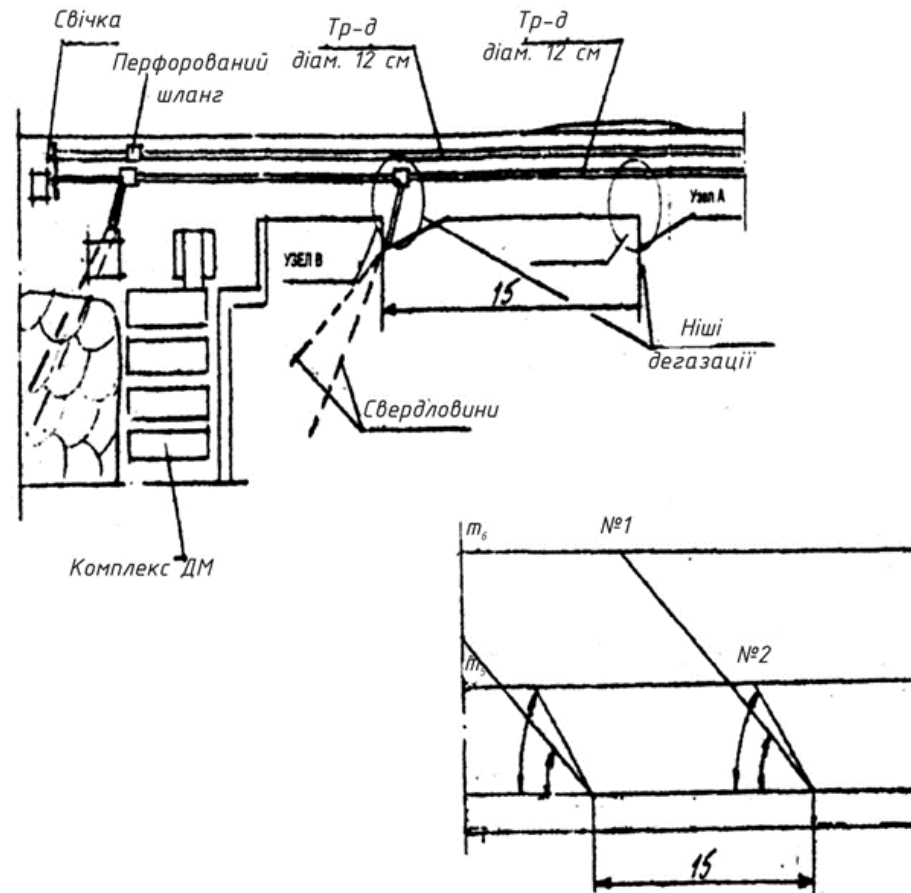
РОЗРОБКА СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИДІЛЕННЯ МЕТАНУ З ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ В ВИЇМКОВУ ДІЛЬНИЦЮ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Схема дегазації пластів-супутників

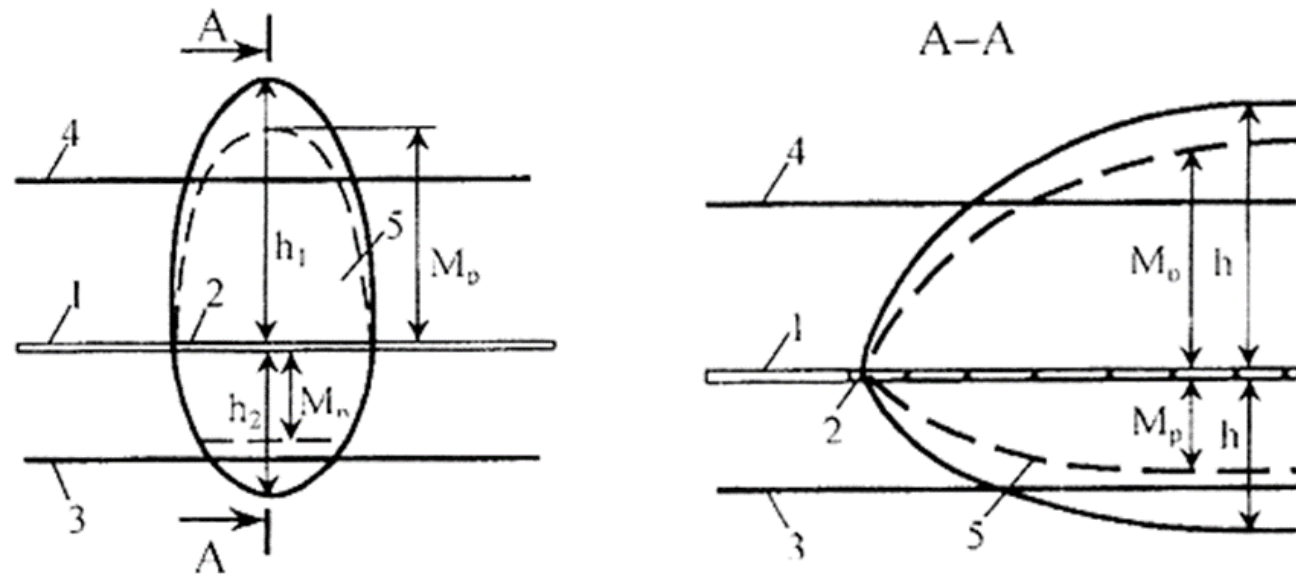


- | | |
|--------------------------|-------------|
| 1) вентиляційна виробка; | 5) дегаз. |
| 2) конвеєрна виробка; | трубопровід |
| 3, 4) дегаз. свердловини | |
| по пласту | |

РОЗРОБКА СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИДІЛЕННЯ МЕТАНУ З ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ В ВИЙМКОВУ ДІЛЬНИЦЮ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

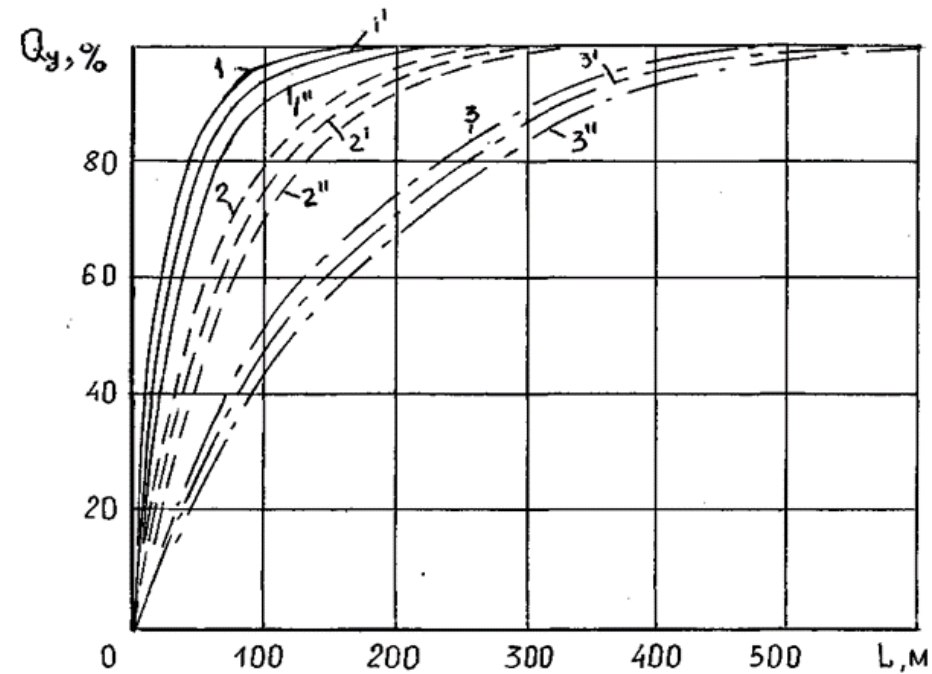


РОЗРОБКА СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИДІЛЕННЯ МЕТАНУ З ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ В ВИЇМКОВУ ДІЛЬНИЦЮ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ



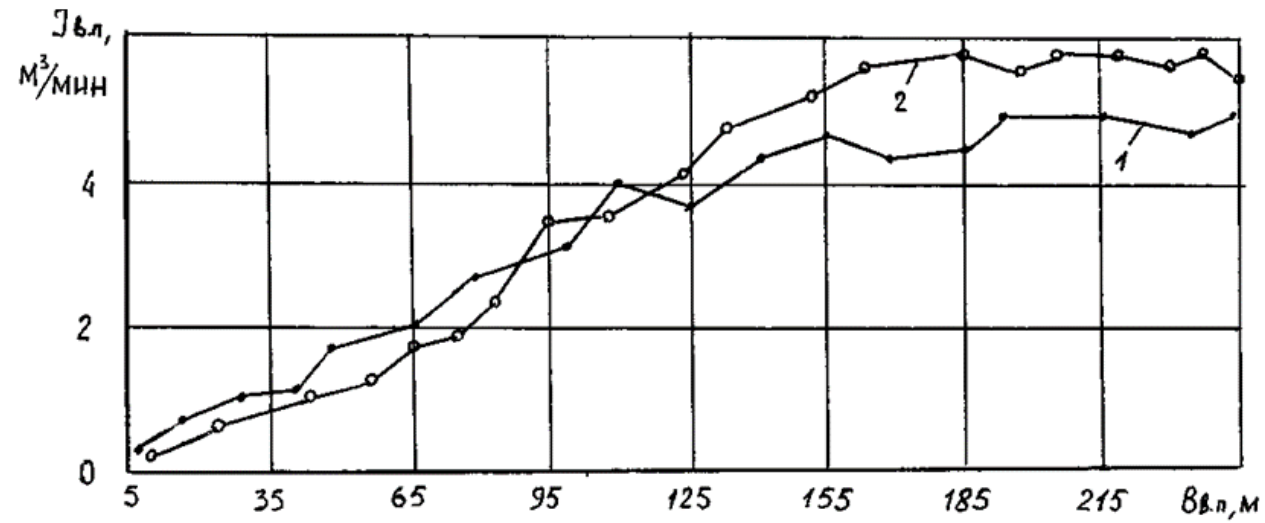
Розподіл розвантаженої зони при відробітку одиночної лави: 1 - відпрацьовуваний пласт; 2 - лава; 3 - надроблений пласт; 4 - пласт, що підробляється; 5 - розвантажена зона; h_1 - величина розвантаженої зони в підробленому масиві; h_2 - величина розвантаженої зони в надработанном масиві; M_{p1} і M_{p2} - відстань, на якій газовиділення з супутників рівне нулю

РОЗРОБКА СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИДІЛЕННЯ МЕТАНУ З ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ В ВИЇМКОВУ ДІЛЬНИЦЮ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ



Зміна величини витоків повітря по довжині виробленого простору: 1, 1', 1'' - для міцності порід кривлі 30-40 МПа і швидкості посування забою до 1 м, 2 м і більше 3 м відповідно; 2, 2', 2'' - для міцності порід кривлі 50-70 МПа і швидкості посування забою до 1 м, 2 м і більше 3 м відповідно; 3, 3', 3'' - для міцності порід кривлі 80-110 МПа і швидкості посування забою до 1 м, 2 м і більше 3 м відповідно

РОЗРОБКА СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИДІЛЕННЯ МЕТАНУ З ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ В ВИЇМКОВУ ДІЛЬНИЦЮ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ



Зміна метановиделення з виробленого простору від його протяжності

РОЗРОБКА СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИДІЛЕННЯ МЕТАНУ З ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ В ВИЇМКОВУ ДІЛЬНИЦЮ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

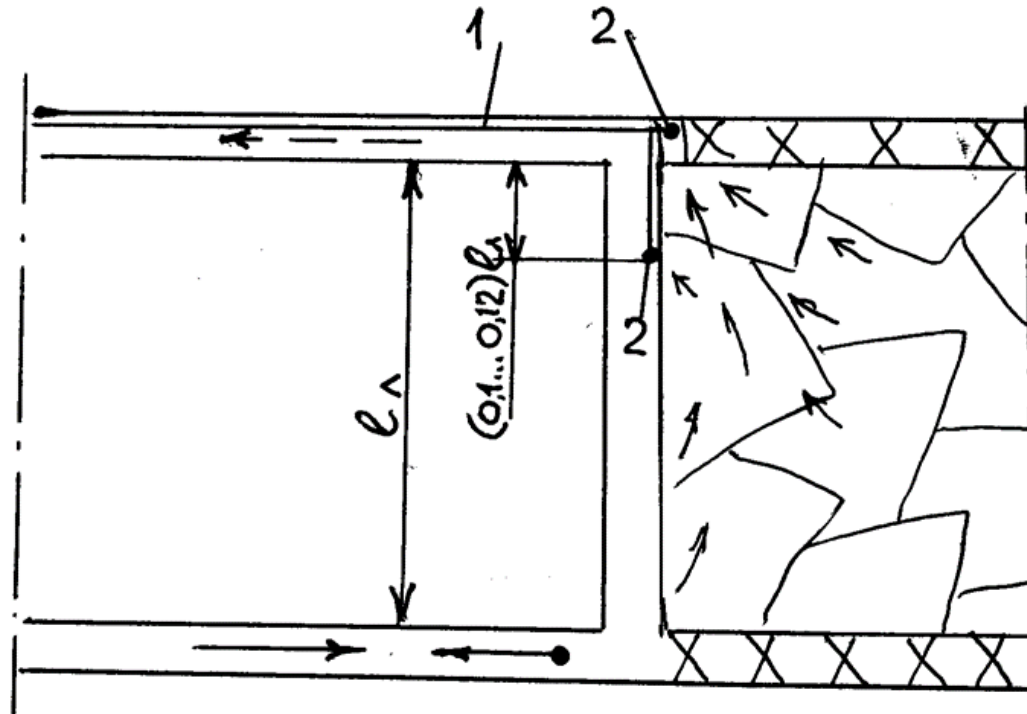


Схема розташування точок газовідсмоктування: 1 - газовідвідний став; 2 - місце відсмоктування газоповітряної суміші