

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Іконніков Максим Юрійович

УДК [622.41: 622.831.312] (043.3)

**ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ  
ПРОВІТРЮВАННЯМ ВИЇМКОВИХ ДІЛЬНИЦЬ ГАЗОВИХ ШАХТ**

Спеціальність:  
05.26.01 – «Охорона праці»

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі аерології та охорони праці Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор  
**ГОЛІНЬКО Василь Іванович**,  
Національний гірничий університет  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри аерології та охорони праці  
(м. Дніпропетровськ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**ПЕРЕПЕЛИЦЯ Валентин Григорович**,  
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова  
Національної академії наук України,  
завідувач відділу гірничої аерогазодинаміки  
(м. Дніпропетровськ);

кандидат технічних наук, доцент  
**НІКОЛАЄВ Євген Борисович**,  
Донецький національний технічний університет  
Міністерства освіти і науки України,  
доцент кафедри охорони праці і аерології

Захист дисертації відбудеться "20" травня 2010 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Національному гірничому університеті Міністерства освіти і науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий “ \_\_\_ ” квітня 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,



к.т.н., доцент

О. О. Азюковський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Технічні можливості сучасної техніки й технології видобутку вугілля в 3-5 разів перевищують досягнутий рівень навантаження на лаву. Разом із тим, інтенсифікація й концентрація процесів вуглевидобутку, перехід на великі глибини супроводжуються значним зростанням і нерівномірністю газовиділення в гірничі виробки, оскільки способи й засоби провітрювання підготовчих і очисних виробок та дегазації породного масиву, найчастіше, навіть у сукупності, не дозволяють повністю використовувати потенційні можливості техніки через виникнення так званого «газового бар'єра».

Нині розроблені алгоритми адаптаційної оптимізації вентиляційного режиму вугільних шахт за газовим фактором, що автоматично враховують зміни аерогазодинамічних параметрів, топологію і взаємозв'язок гілок мережі, які дозволяють визначити параметри регулювання витрати повітря у вентиляційній системі довільної складності. Створено виконавчі пристрої регуляторів витрати повітря з вибухобезпечним приводом, придатні для небезпечних за газом вугільних шахт, а також апаратура керування ними.

Однак, існуючі методи керування провітрюванням виїмкових дільниць за газовим фактором малоефективні, вони не враховують реальний геомеханічний стан порід, їхню метановість і тріщинуватість, небезпеку раптового виділення метану з виробленого простору лави, підготовчих виробок і їхніх сполучень. Потрібна доробка технічних засобів оперативного контролю та керування провітрюванням виїмкових дільниць в умовах його нестабільності, алгоритмів завчасного зниження вмісту метану в прилягаючому просторі з метою безпечного й технологічно допустимого підвищення навантаження на очисний вибій. Суттєве практичне значення для визначення та взаємного узгодження алгоритмів керування режимами провітрювання та безпечної технології проведення виїмкових робіт має якісна й кількісна попередня оцінка напружено-деформованого стану породного масиву навколо очисного вибою. Тому встановлення закономірностей змін аерогазодинамічного й геомеханічного станів гірського масиву під впливом очисних робіт та обґрунтування ефективних методів і технічних засобів керування провітрюванням виїмкових дільниць небезпечних за газом вугільних шахт *є актуальним науковим завданням*, що має важливе практичне значення для підвищення безпеки праці.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження за темою дисертації виконані відповідно до «Програми підвищення безпеки праці на вугільних шахтах», що затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 р. № 1320, і планами науково-дослідних робіт Національного гірничого університету «Комплексний контроль вибухобезпечності гірничих виробок і запобігання неоднозначності спрацьовування засобів її забезпечення», № ДР 0104U000771, та «Наукові основи керування просторовою системою «масив-кріплення» з урахуванням граничного та позамежного стану з розробкою уніфікованих засобів контролю

вибухонебезпечності газових сумішей в шахтній атмосфері», № ДР 0109U002815.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є обґрунтування методів та технічних засобів керування провітрюванням виїмкових дільниць, що підвищують безпеку праці на небезпечних за газом вугільних шахтах.

Для досягнення мети поставлені й вирішені наступні **завдання**:

- виконати аналіз основних причин виникнення аварійних ситуацій на вугільних шахтах України за газовим фактором;
- дослідити закономірності зміни напружено-деформованого стану джерел газовиділення в породному масиві при розробці вугільного пласта та взаємозв'язок ступеня їх руйнування з аерогазодинамічним режимом виїмкової дільниці вугільної шахти;
- дослідити причини нестабільності газового режиму та перехідні аерогазодинамічні процеси на виїмкових дільницях вугільних шахт;
- розробити методики визначення місць інтенсивного надходження метану з виробленого простору й виявлення потенційно небезпечних за метаном ділянок гірничих виробок;
- розробити способи та засоби керування провітрюванням на небезпечних за газом виїмкових дільницях вугільних шахт, що підвищують безпеку праці.

**Об'єкт дослідження:** аерогазодинамічні процеси в гірничих виробках та виробленому просторі шахт, небезпечних за газом метаном.

**Предмет дослідження:** методи та технічні засоби керування витратою повітря на виїмкових дільницях вугільних шахт.

**Методи дослідження:** аналіз і узагальнення науково-технічної інформації за темою роботи; математичне моделювання геомеханічних процесів для визначення параметрів напружено-деформованого стану газонасиченого масиву й факторів формування нестабільності газового режиму виїмкових дільниць; аналітичні й експериментальні методи для дослідження перехідних аерогазодинамічних процесів у гірничих виробках і газової динаміки виїмкових дільниць при регулюванні режимів провітрювання; методи математичної статистики для апроксимації даних експериментів і оцінки достовірності результатів моделювання; інженерне конструювання для розробки технічних засобів керування витратою повітря; техніко-економічний аналіз для оцінки ефективності розроблених технічних рішень.

**Наукові положення, що виносяться на захист:**

1. Домінантним фактором нестабільності газового режиму виїмкових дільниць небезпечних за газом вугільних шахт є зональна дезінтеграція газонасичених джерел вільного метану в основній покрівлі, яка обумовлює переміщення газових потоків з областей підвищеного гірського тиску через тріщини в зонах зрушення й розтягання у вироблений простір, що призводить до формування газонасичених порожнин із підвищеним газовим тиском та сплесків умісту метану в гірничих виробках, які, при застосуванні зворотноточних схем провітрювання, мають високі градієнти й особливо небезпечні на сполученнях лави.

2. Амплітудне значення вмісту метану при перехідному аерогазодинамічному процесі в гірничих виробках прямо пропорційно залежить від інерційних параметрів газоповітряного потоку й обернено пропорційно від довжини виробки.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Уперше встановлені закономірності зміни напружено-деформованого стану джерел газовиділення, переважно пористих пісковиків, у шаруватому породному масиві при розробці вугільного пласта в складних гірничо-геологічних умовах та взаємозв'язок ступеня їх руйнування з аерогазодинамічним режимом небезпечної за газом виїмкової ділянки вугільної шахти.

2. Подальший розвиток одержала математична модель вентиляційної мережі виїмкової ділянки вугільної шахти як об'єкта керування, яка відрізняється одночасним урахуванням динамічних та інерційних властивостей повітряного потоку.

3. Уперше запропоновано метод визначення місць інтенсивного надходження метану з виробленого простору та виявлення потенційно небезпечних за метаном ділянок гірничих виробок радіометричним методом.

4. Уперше встановлена залежність величини сплеску вмісту метану на виїмковій ділянці від відстані до джерела збурювання повітряного потоку, що враховує його акустичні властивості.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій** підтверджується: коректною постановкою задач; прийнятими фізичними передумовами, які базуються на фундаментальних законах аерогазодинаміки й механіки гірських порід; узгодженістю результатів математичного моделювання газової динаміки з результатами шахтних досліджень у діючих гірничих виробках; статистично значимим об'ємом експериментальних даних; позитивними результатами апробації розроблених рекомендацій і запропонованих технічних рішень; збіжністю результатів аналітичних і експериментальних досліджень, що в сукупності забезпечує відносну похибку не більше 25 % при надійності не нижче 95 % і є задовільним для задач гірничотехнічного профілю.

#### **Практичне значення одержаних результатів** полягає:

- у розробці геомеханічних розрахункових схем та визначенні зон руйнування тріщинуватих газонасичених порід, що забезпечує оцінку умов формування нестабільності аерогазодинамічного режиму виїмкової ділянки й експлуатаційний прогноз небезпечних за газом ділянок підготовчих виробок;

- у розробці методики моніторингу динаміки метановиділення й визначення аерогазодинамічних параметрів у конвеєрних і вентиляційних штреках 2-ої та 3-ої західних лав пласта І<sub>4</sub> ОП «Шахта ім. О.Ф. Засядька»;

- у розробці нового способу провітрювання та відводу метану з виробок, що погашаються, який знижує негативний вплив спонтанних проявів природних і гірничотехнічних факторів, що супроводжуються сплесками вмісту метану в діляничних виробках і підвищує безпеку робіт на виїмкових ділянках;

- у розробці методики радіометричного контролю особливостей надходження й накопичення метану та виявлення потенційно небезпечних за газом ділянок підготовчих виробок.

*Практичні результати досліджень використані* при розробці «Методики комплексного моніторингу проявів гірського тиску й аерогазодинамічних параметрів у конвеєрних і вентиляційних штреках 2-ої та 3-ої західних лав пл. І<sub>4</sub> шахти ім. О. Ф. Засядька» та «Методики дослідження перехідних аерогазодинамічних процесів і оцінки параметрів провітрювання в гірничих виробках шахти ім. О. Ф. Засядька», які реалізовані при моніторингу аерогазодинамічних параметрів та попередженні сплесків умісту метану в гірничих виробках шахти.

**Особистий внесок здобувача** полягає в обробці даних та аналізі результатів, обґрунтуванні методик і принципів аналітичних розрахунків перехідних аерогазодинамічних процесів з урахуванням інерційних властивостей повітряного потоку, участі при проведенні шахтних досліджень, розробці геомеханічних розрахункових схем і алгоритмів автоматичного керування провітрюванням виїмкової ділянки за газовим фактором, визначенні параметрів перехідних аеродинамічних процесів, розробці способів керування провітрюванням, методик та рекомендацій.

**Апробація результатів досліджень.** Основні положення роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на міжнародних наукових конференціях: «Сучасні проблеми екології та геотехнології» (Житомир, 2008), «Метан вугільних родовищ України» (Дніпропетровськ, 2008), «Школа підземної розробки» (Гаспра, 2009), «Форум гірників-2009» (Дніпропетровськ, 2009).

**Публікації.** За матеріалами досліджень опубліковано 11 наукових праць, у тому числі: 8 – у спеціалізованих наукових виданнях, затверджених ВАК України, 1 – патент на винахід, 2 – у матеріалах конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 125 найменувань і 5 додатків на 16 сторінках; містить 129 сторінок машинописного тексту, 28 рисунків, 9 таблиць, загальний обсяг – 172 сторінки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована мета досліджень, приведені основні наукові положення та результати, що винесені на захист, відомості про практичне значення та впровадження результатів.

**У першому розділі** проведено аналіз основних причин виникнення аварійних ситуацій на вугільних шахтах України за газовим фактором.

Аналіз показав, що в Україні 90 % діючих шахт є небезпечними за газом метаном, а 60 % за вибухами вугільного пилу. Аварійні загазування виробок найчастіше виникають через порушення провітрювання, утворення застійних зон і місцевих скупчень у них метану, накопичення його у вироблених просторах та раптове виділення у виробки, викликане газодинамічними

явищами. Щороку відбуваються вибухи метаноповітряної та пилоповітряної сумішей. Вибухи в шахті є грізною небезпекою, яка призводить до групових нещасних випадків і великих руйнувань гірничих виробок, устаткування та оснащення. Найбільш тяжкими за наслідками були вибухи на шахтах ім. Засядька (2007 р., загинуло 106 чол., 2001 р. – 56 чол., 1999 р. – 39 чол), ім. Баракова (2000 р. – 80 чол.), ім. Скочинського (1998 р. – 64 чол.).

Зусиллями низки наукових і навчальних установ (МакНДІ, НГУ, ІГТМ НАН України, ДонНТУ, ДонВУГІ, МДГУ, КНДВІ та ін.) створена підсистема диспетчерського контролю й керування провітрюванням вугільних шахт «АТМОС», яка дозволяє робити перерозподіл повітря в гірничих виробках у залежності від газової обстановки на виїмкових дільницях. Однак можливості роботи цієї підсистеми на окремих виїмкових дільницях щодо зниження «газового бар'єра» досить обмежені, оскільки вона не враховує можливості утворення небезпечних скупчень метану в підготовчих виробках, на сполученнях їх із лавою, у прилягаючому масиві завалених порід, а також зміну газопроникності породного масиву від умов відпрацювання виїмкових стовпів і циклічності посадки покрівлі в лаві.

У процесі ведення гірничих робіт у масиві формується складна картина деформацій, переважно непружних, які супроводжуються порушенням цілісності масиву внаслідок утворення в гірських породах нових поверхонь розподілу та тріщин. Часто порушення газового режиму шахт і, як наслідок, виникнення аварійних ситуацій пов'язано з недооцінкою впливу деформацій гірських порід на фільтрацію газу у виробки. Недостатньо досліджено вплив руйнування гірських порід на аерогазодинамічні процеси при перерозподілі повітря у вентиляційній мережі. Існуючі методи керування провітрюванням вугільних шахт за газовим фактором потребують подальшого вдосконалення. Крім того, необхідна розробка нових технічних засобів управління провітрюванням виїмкових дільниць.

За результатами аналізу сформульовані задачі досліджень.

**У другому розділі** представлені результати досліджень зміни напружено-деформованого стану джерел газовиділення в породному масиві при розробці вугільного пласта та взаємозв'язку ступеня їхнього руйнування з аерогазодинамічним режимом виїмкової дільниці вугільної шахти.

Загазування лави та вентиляційних штреків при стовпових системах розробки з керуванням покрівлею повним обваленням пов'язано, насамперед, з великими обсягами вироблених просторів відпрацьованих лав за всією довжиною виїмкового стовпа й нестабільністю газовиділення в штреки за шляхом руху вентиляційного струменя. Найнебезпечнішими є важко керовані коливання вмісту метану, які викликані посадками основної покрівлі, недостатньою ефективністю дегазації, суфлярами, відкриттям і закриттям вентиляційних дверей та ін. Причини досить низької ефективності дегазації покрівлі свердловинами (4-46%) полягають у тому, що вони не можуть дегазувати весь масив, що зрушується, а після проходження лави руйнуються й не працюють у частинах штреків, що не підтримуються. Внаслідок цього в гірничих виробках відбуваються інтенсивні аерогазодинамічні процеси та різкі



сплески вмісту метану, які викликають нестабільність газового режиму на виїмкових ділянках вугільних шахт.

Виявлення закономірностей формування зон руйнування в породному масиві та з'ясування причин нестабільності газовиділення в гірничі виробки проведено методом математичного моделювання з урахуванням шаруватості, непружних деформацій і тріщинуватості гірських порід. Геомеханічна задача вирішена на обчислювальному комплексі математичного моделювання GEO-PC (v.5.0.) (розроблений ІГТМ НАН України), який має базу даних фізико-механічних властивостей порід, засоби коректування вихідних даних і аналізу результатів розрахунків. Об'єктом моделювання обрана ділянка породного масиву навколо 17 західної лави пласта  $m_3$  (найнебезпечнішого за метаном) шахти ім. О.Ф. Засядька, потужністю 1,6-2 м (глибина розробки 1200-1380 м). Задача вирішена для 2 основних і 11 допоміжних поперечних перерізів. У розрахункову схему методу скінченних елементів (МСЕ) були введені реальні фізико-механічні властивості порід, потужності пластів, форми й розміри виробок (рис. 1, а). Розрахунки проведені послідовно для глибин 700, 900, 1100 і 1300 м. У результаті розрахунків визначені зсуви вузлів елементів, стан елементів (пружне деформування, пластичне або з розривними порушеннями), границі зон руйнування в масиві та максимальні головні напруження, які були використані для побудови діаграм напружено-деформованого стану, рис. 1 б, в.

Після проходження лави шари гірських порід поступово руйнуються, величина товщі обвалених порід наростає, внаслідок чого розвантажуються пласти-супутники та газонасні пісковики. В основній покрівлі вугільного пласта  $m_3$  знаходяться два потужних пласта газонасиченого пісковика: шестиметровий пласт на відстані  $\approx 18$  м від вугільного пласта та тридцятиметровий пласт на відстані  $\approx 51$  м. На різних ділянках масиву їхній ступінь руйнування істотно відрізняється. На непорушених ділянках вони є потужними концентраторами напружень і перешкодами для фільтрації метану, а на зруйнованих – основними джерелами газовиділення й надходження метану в гірничі виробки.

Аналіз характеру руйнування джерел газовиділення в покрівлі очисного вибою та зон різної проникності гірського масиву показав, що в зоні динамічного опорного тиску лави породи покрівлі зі слабкою проникністю перебувають у стані переущільнення (рис. 1, б). У виробленому просторі на відстані 24-35 м від очисного вибою вони, навпаки, мають максимальний коефіцієнт розущільнення, тому їхня газопроникність дуже велика і може сприяти або акумуляції газу, або створювати в масиві техногенні газові потоки різних напрямків і інтенсивності. Визначено кількісні параметри напружень у шарі газонасиченого пісковика. Спереду очисного вибою в зоні динамічного опорного тиску проникність пісковика знижується, що пов'язано із закриттям газопровідних пор і тріщин, напруження досягають 80-125 МПа. Зона опорного тиску поширюється на 100-150 м попереду очисного вибою. Поза 30-метровою зоною починається процес відновлення гідростатичного тиску.

Рух газу відбувається з ділянок із підвищеним тиском у ділянки зниженого тиску по відкритих тріщинах у зонах непружних деформацій, тому аналіз отриманої при моделюванні інформації дозволив виявити шляхи

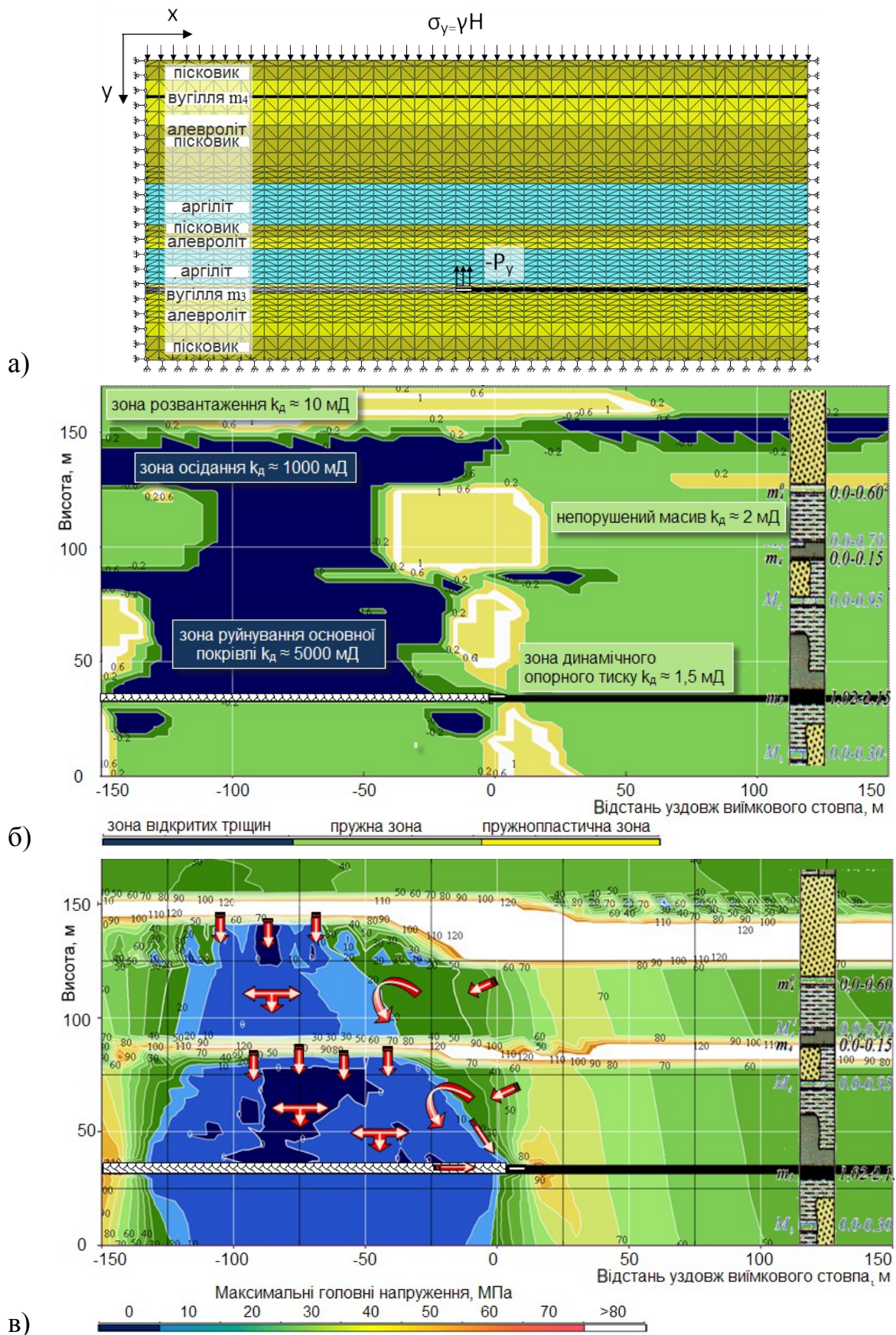


Рис. 1. Дослідження джерел формування нестабільності газового режиму виїмкової ділянки: а - розрахункова схема методу скінченних елементів; б - зони руйнування; в - закономірності розподілу гірського тиску та шляхів переміщення метану від супутників у вироблений простір і в робочу зону лави

переміщення потоків метану через тріщини в зонах зрушення й розтягання від пластів-супутників у вироблений простір і в робочу зону лави (зображено стрілками на рис. 1, в). Визначено, що виділення метану з виробленого простору в 2,5-3 рази перевищує газовиділення з інших джерел, що пов'язано з активними руйнуваннями газонасиченого пісковика в основній покрівлі пласта  $m_3$ . Найбільш інтенсивне газовиділення відбувається під час проходження вибою лави або на деякому віддаленні за лавою. Відбувається різке падіння напружень, розкриття існуючих і утворення нових тріщин, що викликає десорбцію газу і його інтенсивне надходження в гірничі виробки, в основному, через вироблений простір. Руйнування газонасичених пісковиків в основній покрівлі вугільного пласта суттєво впливає на нестабільність газового режиму виїмкової ділянки й приводить до формування газонаповнених порожнин із підвищеним газовим тиском та сплесків умісту метану в гірничих виробках, які особливо небезпечні на сполученнях лави.

Дані моделювання підтверджені результатами аналізу дебіту метану з дегазаційних свердловин, який показав, що близько 77 % від загального обсягу газу виділяється з підроблених газонасичених пластів-супутників і пісковиків в основній покрівлі та зростає в 6-11 разів у зоні обвалення. Зі свердловин, розташованих по осі вентиляційного штреку, зафіксований дебіт метану в 2,9 рази менший, ніж зі свердловин, що спрямовані на вироблений простір. Тобто, метан, що залишився в гірських породах над вентиляційним штреком, є потенційно небезпечним і може просочуватися в лаву, вироблений простір або вентиляційний штрек.

На базі встановлених закономірностей зміни напружено-деформованого стану пористих пісковиків під впливом очисних робіт з урахуванням позамежних станів породного масиву в областях стиску й розтягання оцінено взаємозв'язок ступеня їхнього руйнування з аерогазодинамічним режимом виїмкової ділянки, виявлені потенційно небезпечні за газом зони підготовчих виробок. Це дало основу для розробки ефективних способів керування провітрюванням, які виключають перевищення гранично припустимого вмісту метану.

**У третьому розділі** представлені результати математичного моделювання та експериментальних досліджень перехідних аерогазодинамічних процесів і динамічних властивостей вентиляційної мережі виїмкової ділянки.

Аналіз досліджень газодинамічних явищ на вугільних шахтах показує, що перехідні процеси в гірничих виробках у своїй основі мають скороминучі процеси зміни тиску, які викликають появу перехідних процесів за дебітом повітря, а останні – появу перехідних газодинамічних процесів. Витрата повітря на виїмковій ділянці, у свою чергу, характеризується рядом факторів, які впливають на перехідні газодинамічні процеси. До них відносяться інерційні властивості повітряного потоку, які полягають у розсіюванні енергії на подолання аеродинамічного опору, а також її накопиченні, обумовленому інерційністю та стискальністю повітряного середовища. Мірою інерційності є акустична маса, а пружні властивості повітряного потоку, тобто його стискальність або піддатливість ураховуються акустичною гнучкістю.

З урахуванням інерційних властивостей повітряного потоку була визначена залежність поточного значення дебіту повітря при перехідному процесі в точці контролю при керуванні вентиляційним режимом виїмкової дільниці:

$$Q_i = Q_0 \pm \Delta Q \cdot \{1 - \exp[-1/2\beta \cdot (t - t_{\zeta}) \cdot (1 - \text{sign}(t_{\zeta} - t))]\}, \quad (1)$$

де  $Q_0$  - початкова витрата повітря, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta Q$  - величина зміни дебіту повітря, м<sup>3</sup>/с;  $\beta$  - коефіцієнт, визначений за результатами експерименту, с<sup>-1</sup>;  $\beta = 1/T$ ,  $T$  - постійна часу перехідного процесу, с;  $t_{\zeta}$  - час затримки початку перехідного процесу,  $t_{\zeta} = l/c$ , де  $l$  - відстань від регулятора витрати повітря до точки контролю, м;  $c$  - швидкість поширення звуку в повітрі, м/с. Знак «+» або «-» перед  $\Delta Q$  - збільшення або зменшення витрати повітря в процесі регулювання.

З урахуванням залежності (1) була розроблена математична модель надходження метану до виїмкової дільниці за джерелами його виділення в очисному вибої, у свіжому струмені повітря, з виробленого простору.

Джерелами надходження метану в призабійний простір із відносно невисокою газовою динамікою є

$$q_{np} = q_y + q_{on} + q_k + q_{kn} + q_n, \quad (2)$$

де  $q_y$  - газовиділення з відбитого вугілля, що перебуває в межах лави, м<sup>3</sup>/с;  $q_{on}$  - газовиділення з оголеної поверхні пласта, м<sup>3</sup>/с;  $q_k$  - газовиділення із зони роботи комбайна, м<sup>3</sup>/с;  $q_{kn}$  - газовиділення з покрівлі й порід призабійного простору, м<sup>3</sup>/с;  $q_n$  - газ, що поступає зі свіжим струменем повітря, м<sup>3</sup>/с.

Дебіт метану в призабійний простір при зміні витрати повітря визначається

$$q_{np} = \{C_x' + (C_o - C_x) \cdot \exp[-(q_{np} + Q_i) \cdot t/V]\} \cdot Q_i, \quad (3)$$

де  $C_x'$  - об'ємна частка метану в будь-якій точці лави при перехідному процесі, %;  $C_o$  - об'ємна частка метану на сполученні лави з вентиляційним штреком до перехідного процесу, %;  $C_x$  - об'ємна частка метану на сполученні лави з вентиляційним штреком після перехідного процесу, %;  $V$  - об'єм призабійного простору.

Математична модель газодинамічних процесів на виїмковій дільниці, викликаних дебітом метану з виробленого простору в залежності від тиску, дебіту повітря і параметрів регулятора витрат повітря, розроблена для виїмкової дільниці, що розроблює довгий стовп зворотним ходом.

Дебіт метану з виробленого простору у виробки виїмкової дільниці при зміні витрати повітря визначається як

$$q_{en} = \left[ q_0^2 \pm \Delta P / r_{en} \cdot \exp\left(2 \cdot (r \cdot l + 1 / K_p) \cdot C_a \cdot Q_i + \lambda \cdot L_a \cdot C_a\right)^{-1} \cdot t - 1 \right]^{0,5}, \quad (4)$$

де  $q_0$  - початкове значення дебіту метану, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta P$  - максимальна зміна тиску повітря при регулюванні, Па;  $r_{en}$  - аеродинамічний опір виробленого простору, Па·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>;  $r$  - питомий аеродинамічний опір вентиляційного штреку, Па·с<sup>2</sup>/м<sup>7</sup>;  $l$  - довжина вентиляційного штреку, м;  $K_p$  - пропускна здатність регулятора витрат

повітря,  $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{Па}^{0,5}$ ;  $\lambda$  - коефіцієнт затухання,  $\lambda=c/l$ ;  $C_a$  - акустична стискальність,  $\text{м}^3/\text{Па}$ ;  $L_a$  - акустична маса,  $\text{Па}\cdot\text{с}^2/\text{м}^3$ .

Перевірка достовірності аналітичних залежностей (1, 3, 4) проводилася шляхом зіставлення результатів моделювання із застосуванням програм Mathcad з експериментами по дослідженню перехідних аерогазодинамічних процесів, які були проведені на шахті ім. О. Ф. Засядька. Результати перевірки отриманих аналітичних залежностей на натурному об'єкті підтвердили збіжність розрахункових параметрів аерогазодинамічних процесів із результатами натурального експерименту на виїмковій ділянці при регулюванні витрати повітря.

Для дослідження характеру зміни величини сплеску вмісту метану від акустичних властивостей об'єму повітря, що знаходиться у виробках виїмкової ділянки, виконано розрахунок газодинамічних параметрів на математичній моделі для умов третьої західної лави пл. І<sub>4</sub> при однаковому факторові впливу й наступне порівняння з результатами натурального експерименту (рис. 2).

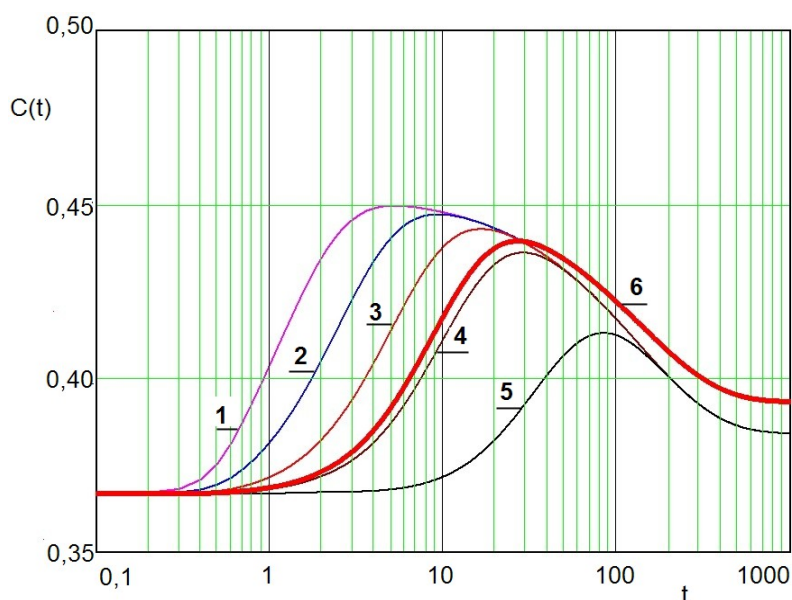


Рис. 2. Перехідні процеси за вмістом метану в сполученні лави з вентиляційним штреком:

1-5 – дані математичного моделювання при довжині вентиляційного штреку 50 м, 100 м, 200 м, 400 м і 1500 м відповідно;

6 – шахтний експеримент (довжина штреку 200 м)

Результати цих досліджень свідчать про те, що по мірі розробки стовпа зворотним ходом величина максимуму вмісту метану зростає. Установлено залежність відносної величини сплеску метану від довжини вентиляційного штреку (рис. 3). Вплив акустичних параметрів повітряного потоку описується залежністю:

$$W = C_i / C_{\max} = 1,18 \cdot \exp(-0,07L_{\text{штр}}), \quad (5)$$

де  $C_i$  - величина сплеску вмісту метану при  $i$ -тій довжині штреку,  $C_{max}$  - величина сплеску вмісту метану при мінімальній довжині штреку.

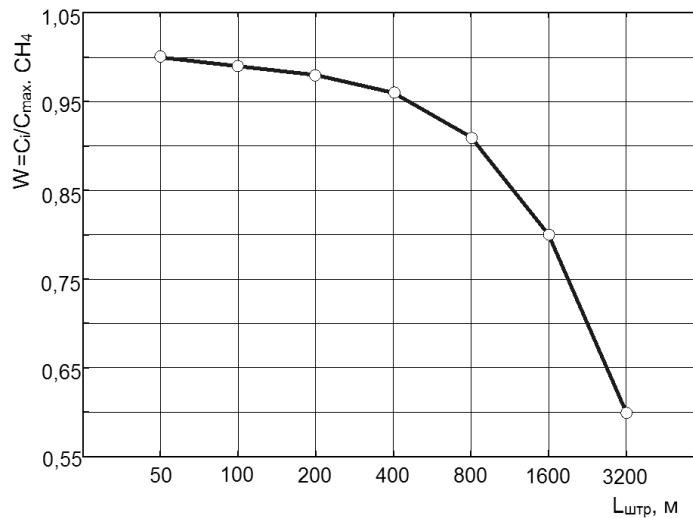


Рис. 3. Залежність відносної величини сплеску вмісту метану від довжини вентиляційного штреку

Аналіз отриманої залежності свідчить про те, що при прийнятій на шахті системі розробки вугільного пласта зворотним ходом стовпами довжиною порядку 2000 м, величина сплеску вмісту метану по мірі розробки стовпа може зрости до 30% при тому самому факторі впливу.

Результати виконаних досліджень використані при проектуванні системи оперативного керування провітрюванням виїмкової ділянки, що базується на математичному опису динамічних властивостей вентиляційної мережі як об'єкта управління. При цьому достатньо мати інтегральні характеристики перехідних аерогазодинамічних процесів у заданих пунктах схеми провітрювання (наприклад, у вихідному струмені ділянки й на сполученнях із лавою). Ці характеристики визначені з рішення рівнянь аерогазодинаміки (1, 3, 4), що виражені як математична модель у вигляді передавальних функцій.

Розробка системи автоматичного управління (САУ) провітрюванням виїмкової ділянки вимагає визначення параметрів та вибору закону керування. Моделювання проводилося з урахуванням параметрів третьої виїмкової ділянки пл. І<sub>4</sub>. Виходячи із властивостей об'єкта, вибрано пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) закон управління. Дослідження й розрахунок параметрів САУ здійснювалися машинним методом, з використанням пакета Matlab. Відповідно результатам моделювання сплески метану знаходилися в заданих межах при відпрацюванні керуючого впливу, а якість перехідного процесу відповідала встановленим вимогам, рис. 3.

У **четвертому розділі** розроблена методика оцінки умов і природи накопичення метану у вугільному вибої й сполучених гірничих виробках на основі методу радіаційного контролю радону та продуктів його розпаду та представлено новий спосіб провітрювання й відводу метану з виробки, що погашається.

Радон завжди присутній у будь-якому гірському масиві, зменшення його вмісту, наприклад, за рахунок дифузії в повітря постійно компенсується новою генерацією радону. Дифузія радону в гірському масиві і його виділення з поверхні визначаються коефіцієнтом дифузії, що залежить від багатьох факторів. Найбільш важливими з них є пористість, проникність і тріщинуватість. Ці властивості середовища істотно залежать від напружено-деформованого стану масиву. Радон має високу проникаючу здатність, отже, динамічні зміни його вмісту в приповерхньому шарі виробки будуть однозначно відображати зміни напружено-деформованого стану породного масиву, наявність у шарах, що підроблюються порожнеч із сумішшю радону та метану.

Суть запропонованої автором методики полягає в тому, що за допомогою радіометричного контролю в гірничих виробках визначаються місця підвищеного, у порівнянні з фоновим, надходження в рудникове повітря радону в суміші з метаном. Для проведення вимірів радіометричного контролю на натурному об'єкті був застосований радіометр еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону РГА-09МШ. Одночасно проводилися виміри вмісту метану. На рис. 4 наведене відносне збільшення дебіту метану  $R$ , що надійшов в конвеєрний ходок східної лави пласта  $l_4$  разом з продуктом розпаду радону ( $Po-218$  з періодом піврозпаду 3,05 хв.), до його загального збільшення (визначається також за ізотопами  $Pb-214$  з періодом піврозпаду 26,8 хв. та  $Bi-214$  із періодом піврозпаду 19,7 хв.)

$$R = \Delta q_r / \Delta q_i, \quad (6)$$

де  $\Delta q_r$  - збільшення дебіту метану, що надійшов разом з  $Po-218$ ;  $\Delta q_i$  - збільшення дебіту метану, що надійшов разом з  $Po-218$ ,  $Pb-214$  та  $Bi-214$ .

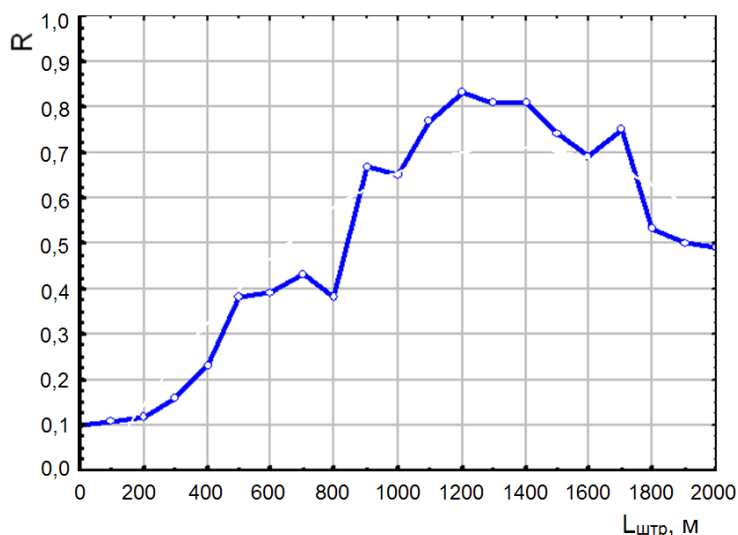


Рис. 4. Відносне збільшення дебіту метану, що надійшов разом із продуктами розпаду радону

Шахтні дослідження дозволили виявити місця підвищеного надходження в гірничі виробки радону з нетривалим терміном перебування в

атмосфері в суміші з метаном у зонах тектонічних порушень, що свідчить про поточну інтенсивну десорбцію метану та продуктів розпаду радону з підроблених пластів. Установлено, що в зоні тектонічних порушень (1200-1400 м, рис. 4) значення показника  $R$  в 1,7-1,8 раз вище, ніж у зонах опорного тиску (500-800 м, 1500-1600 м, рис. 4). Розроблена методика визначення місць інтенсивного надходження радону дозволяє завчасно виявляти ділянки гірничих виробок із підвищеним виходом метану й своєчасно запобігати досягненню недопустимого його вмісту при керуванні провітрюванням.

Одним із небезпечних місць, де може виникнути вибухонебезпечна концентрація метаноповітряної суміші, є тупикова частина вентиляційного штреку, що погашається. Тому розроблено спосіб провітрювання та відводу метану з вентиляційної виробки виїмкової дільниці з можливістю оперативного контролю й керування станом шахтної атмосфери з урахуванням динаміки перехідних газодинамічних процесів. Провітрювання тупикової частини вентиляційного штреку досягається шляхом відводу метану по повітроводу 2 (рис. 5), розрідження в змішувачі 5 і його видалення за межі робочої частини вентиляційного штреку за рахунок загальношахтної депресії. Попередньо задаються верхні границі припустимих значень умісту метану в зоні вентиляційного штреку, що погашається, у повітряному потоці на виході з лави та в потоці, що виходить зі змішувача, а також вимірюється швидкість повітряного потоку. У процесі керування провітрюванням порівнюються поточні значення контрольованих показників із заданими і за результатами порівняння вмісту метану та витрат повітря здійснюється розподіл повітряних потоків по виробках дільниці з урахуванням поточних значень аерогазодинамічних параметрів до досягнення заданих величин.

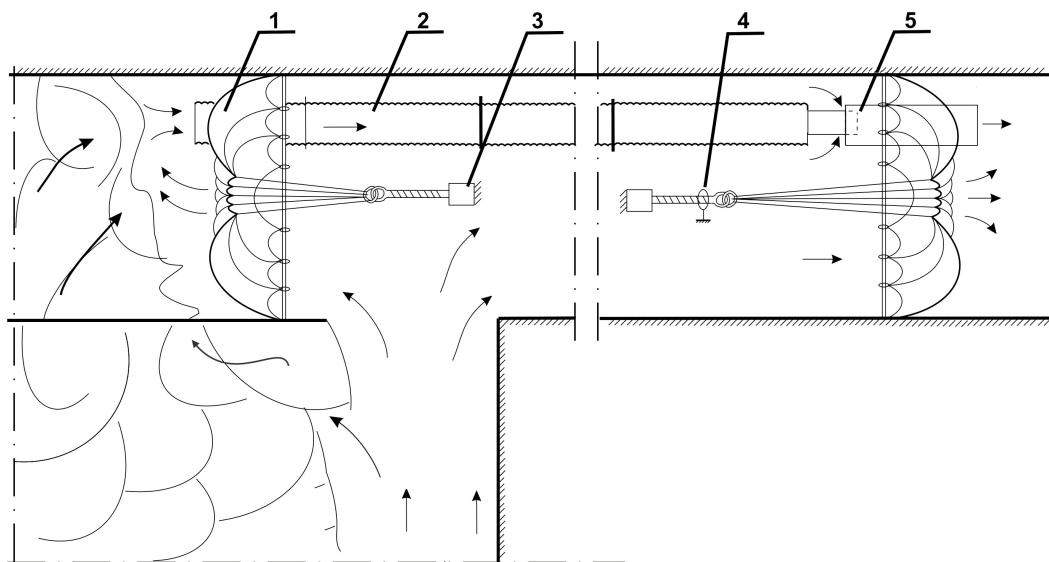


Рис. 5. Технологічна схема відводу метану з вентиляційної виробки:  
1 - розділовий регулятор витрати повітря парашутного типу; 2 – повітровід;  
3 - привід тягового каната; 4 - обмежник ходу тягового каната; 5 - змішувач



Застосування запропонованого способу провітрювання та відводу метану завдяки використанню при його реалізації двох парашютних регуляторів витрат повітря 1, гнучкого армованого спіраллю вентиляційного трубопроводу 2 дозволяє: зменшити витрати на провітрювання виїмкової ділянки; підвищити оперативність керування вентиляційними потоками у виробках виїмкової ділянки; знизити негативний вплив спонтанних проявів природних і гірничотехнічних факторів, що супроводжуються сплесками вмісту метану в діляничних виробках.

Розроблено алгоритм і програмне забезпечення роботи системи автоматичного керування провітрюванням виїмкової ділянки, визначені апаратні засоби, що дозволяють реалізувати алгоритм керування із застосуванням мікропроцесорної техніки. Впровадження розробки в практику рудничної вентиляції дозволить ефективно використовувати повітря, що подається в шахту, підвищити економічні показники вентиляції, збільшити навантаження на вибій та поліпшити безпеку праці гірників.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою в області охорони праці, у якій на основі встановлених закономірностей змін аерогазодинамічного й геомеханічного станів гірського масиву під впливом очисних робіт з урахуванням ступеня руйнування джерел газовиділення в шаруватому породному масиві, акустичних та інерційних властивостей повітряних потоків у підготовчих виробках визначені потенційно небезпечні зони за метаном, розроблено методики моніторингу аерогазодинамічних параметрів і радіометричного контролю метану в умовах нестабільності його надходження, інженерно-технічні засоби для зниження непродуктивних витрат повітря у вентиляційній мережі, що має важливе значення для підвищення ефективності провітрювання гірничих виробок і безпеки праці на вугледобувних підприємствах.

Основні наукові і практичні результати полягають у наступному:

1. Аналіз основних причин виникнення аварійних ситуацій на вугільних шахтах України по газовому фактору показав, що вони, найчастіше, відбуваються внаслідок раптових змін виділення метану зі зруйнованих газонасичених гірських порід, а також за рахунок сплесків небезпечного вмісту метану за технологічними причинами. Існуючі методи й технічні засоби керування провітрюванням не дозволяють прогнозувати та своєчасно реагувати на раптові зміни метановості видобувних ділянок, тому потрібно їхнє подальше вдосконалення.

2. Розроблені геомеханічні розрахункові схеми, які враховують реальну шаруватість і фізико-механічні властивості вугілля та порід, визначені зони руйнування тріщинуватих газонасичених порід під впливом очисних робіт, що забезпечує експлуатаційний прогноз потенційно небезпечних за газом ділянок підготовчих виробок.

3. Установлені закономірності змін напружено-деформованого стану

джерел газовиділення в породному масиві при розробці вугільних пластів у складних гірничо-геологічних умовах і взаємозв'язок ступеня їх руйнування з аерогазодинамічним режимом виїмкових дільниць вугільних шахт, небезпечних за газом, що дозволило пояснити причини нестабільності газового режиму на цих дільницях.

4. Розроблена математична модель вентиляційної мережі виїмкової дільниці вугільної шахти як об'єкта керування, що відрізняється одночасним урахуванням динамічних та інерційних властивостей повітряного потоку, яка дозволила дослідити перехідні аерогазодинамічні процеси на виїмкових дільницях вугільних шахт.

5. Теоретично встановлена та експериментально підтверджена залежність величини сплеску вмісту метану на виїмковій дільниці від відстані до джерела збурювання повітряного потоку, яка обумовлена його акустичними властивостями.

6. Розроблена методика визначення місць інтенсивного надходження метану з виробленого простору й виявлення потенційно небезпечних за метаном ділянок гірничих виробок із використанням радіометричного методу.

7. Розроблена методика моніторингу аерогазодинамічних параметрів у конвеєрних та вентиляційних штреках, що враховує кількість і періоди піврозпаду ізотопів радону-222 та забезпечує можливість виявлення місць підвищеного надходження метану в гірничі виробки та його ідентифікацію за тривалістю перебування в атмосфері виїмкової дільниці.

8. Розроблено новий спосіб провітрювання та відводу метану з виробок, що погашаються, який має 6 режимів роботи та знижує негативний вплив спонтанних проявів природних і гірничотехнічних факторів, що супроводжуються сплесками вмісту метану у виробках, і підвищує безпеку робіт на виїмкових дільницях.

9. Розроблена методика моніторингу проявів гірського тиску й аерогазодинамічних параметрів використана при проведенні моніторингу в конвеєрних та вентиляційних штреках 2 і 3 західних лав пласта І<sub>4</sub> ОП „Шахта ім. О.Ф. Засядька“. Дольова участь автора у фактичному економічному ефекті складає 48,3 тис. грн.

### **Основні положення і результати дисертації опубліковані в роботах:**

1. Голинько В.И. Исследование переходных аэрогазодинамических процессов в шахтной вентиляционной сети / В.И. Голинько, М.Ю. Иконников / Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2006. – № 26, Т2. – С. 81-89.

2. Шаруда В.Г. Математическая модель управления проветриванием добычного участка угольной шахты / В.Г. Шаруда, М.Ю. Иконников // Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2007. – № 28. – С. 143-149.

3. Иконников М.Ю. Определение аэрогазодинамических параметров добычных участков газовых шахт методом активного многофакторного

експеримента / М.Ю. Иконников // Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2007. – № 29. – С. 218-224.

4. Использование явления зональной дезинтеграции при разработке параметров схем дегазации / С.А. Курносов, Е.А. Слащева, И.Н. Слащев, Н. В. Коваль, М. Ю. Иконников // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2008. – Вып. 80. – С. 265-269.

5. Слащев И.Н. Моделирование трещиноватости как основа прогноза газового режима добычных участков глубоких шахт / И.Н. Слащев, М.Ю. Иконников // Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2008. – № 31. – С. 236-245.

6. Іконніков М.Ю. Дослідження несталих газодинамічних процесів у призабійному просторі виїмкової дільниці / М.Ю. Іконніков // Зб. наук. пр. НГУ. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2009. – № 32. – С. 206-214.

7. Иконников М.Ю. Исследование газодинамических процессов на выемочном участке угольной шахты / М.Ю. Иконников // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2009. – № 10. – С. 40-44.

8. Слащев И.Н. Практический опыт повышения эффективности угледобычи и безопасности труда в сложных горно-геологических условиях / Слащев И.Н., Курносов С.А., Слащева Е.А., Иконников М.Ю., Филимонов П.Е., Цикра А.А. // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2009. – № 11. – С. 20-25.

9. Пат. 43338, Україна: МПК (2009) E21F 1/100. Спосіб провітрювання і відводу метану з виробки, що погашається / В.І. Голінько, М.В. Шибка, М.Ю. Іконніков, Т.О. Артюшенко; заявник та власник патенту Національний гірничий університет. – № 200902907 ; заявл. 27.03.2009 ; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 15.

10. Іконніков М.Ю. Прогнозування «сплесків» концентрації метану при диспетчерському управлінні провітрюванням виїмкових дільниць / М.Ю. Іконніков // Тези V міжнар. наук. конф. студ., магістрів та асп. «Сучасні проблеми екології та геотехнологій», 19-22 березня 2008 р. – Житомир : ЖДТУ, 2008. – С. 459-460.

11. Голінько В.І. Розробка способу провітрювання і відводу метану з виробки, що погашається на виїмковій дільниці вугільної шахти / В.І. Голінько, М.В. Шибка, М.Ю. Іконніков, Т.О. Артюшенко // Матер. міжнар. конф. «Форум гірників – 2009». Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2009. – С. 20-25.

**Особистий внесок здобувача в роботах, що опубліковані у співавторстві,** полягає в постановці й проведенні досліджень [1]; розробці математичної моделі управління аерогазодинамічними процесами на виїмковій дільниці вугільної шахти [2]; дослідженні процесів зональної дезинтеграції газонасичених джерел вільного метану та утворення порожнин із підвищеним газовим тиском [4, 5], установленні причин нестабільності газового режиму виїмкових дільниць вугільних шахт [8]; розробці способу прогнозування сплесків умісту метану [9]; розробці способу підтримування безпечних концентрацій метану у тупиковій частині вентиляційного штреку [11].

## АНОТАЦІЯ

Іконніков М. Ю. Обґрунтування методів та технічних засобів керування провітрюванням виїмкових діляниць газових шахт. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – «Охорона праці», Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2010 р.

Дисертація присвячена встановленню закономірностей змін аерогазодинамічного й геомеханічного станів гірського масиву під впливом очисних робіт та обґрунтуванню ефективних способів керування провітрюванням виїмкових діляниць у небезпечних за газом вугільних шахтах.

Визначені особливості руйнування джерел газовиділення, переважно пористих пісковиків, у шаруватому породному масиві при розробці вугільного пласта та встановлено взаємозв'язок ступеня їх руйнування з аерогазодинамічним режимом небезпечної за газом виїмкової діляниці вугільної шахти. Розроблена математична модель динамічних властивостей вентиляційної мережі виїмкової діляниці вугільної шахти як об'єкта керування та встановлена залежність величини сплеску вмісту метану від відстані до джерела збурювання повітряного потоку, що відрізняються врахуванням акустичних властивостей повітряного потоку. Уперше запропонована методика радіометричного контролю надходження метану й виявлення потенційно небезпечних ділянок гірничих виробок. Розроблено новий спосіб провітрювання та відводу метану з виробок, що погашаються.

Результати досліджень використані при розробці та впровадженні методик моніторингу аерогазодинамічних параметрів виїмкових діляниць та способу провітрювання й відводу метану з виробок, що погашаються. У результаті впровадження розробок одержано фактичний економічний ефект.

Ключові слова: безпека робіт, вугільна шахта, очисні роботи, метан, виїмкова діляниця, провітрювання, вентиляційна мережа, аерогазодинаміка.

## АННОТАЦИЯ

Иконников М. Ю. Обоснование методов и технических средств управления проветриванием выемочных участков газовых шахт. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 – «Охрана труда», Национальный горный университет, Днепропетровск, 2010 г.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи, которая заключается в повышении эффективности проветривания горных выработок добычных участков на опасных по газу угольных шахтах путем предотвращения недопустимых по «Правилам безопасности...» всплесков концентрации метана, снижения непроизводительных потерь воздуха в шахтной вентиляционной сети за счет комплекса инженерно-технических средств.

Впервые установлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния источников газовой выделенности, преимущественно пористых песчаников, в слоистом породном массиве при отработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях. Оценена взаимосвязь степени их разрушения с аэрогазодинамическим режимом добычного участка опасной по газу угольной шахты. Отличительной особенностью установленных закономерностей является учет упругопластических свойств породного массива на основе модифицированного метода Ньютона-Рафсона, запредельных состояний в областях сжатия и растяжения.

Разработана математическая модель аэрогазодинамических процессов на выемочном участке, которая позволила описать динамические свойства вентиляционной сети участка, как объекта управления, и предложить закон управления для создания системы автоматического управления проветриванием.

Впервые установлена зависимость величины всплеска содержания метана от расстояния до источника возмущения воздушного потока, учитывающая его акустические свойства.

Разработан способ проветривания и заблаговременного отвода метана за счет общешахтной депрессии, который предназначен для снижения негативного влияния спонтанных проявлений природных и горнотехнических факторов, приводящих к переходным газодинамическим процессам, сопровождающимся всплесками концентраций метана в участковых выработках.

Результаты исследований использованы при разработке и внедрении методик мониторинга аэрогазодинамических параметров добычных участков и способа проветривания и отвода метана из погашаемых выработок. В результате внедрения разработок получен фактический экономический эффект.

Ключевые слова: безопасность работ, угольная шахта, очистные работы, метан, выемочный участок, проветривание, вентиляционная сеть, аэрогазодинамика.

## ANNOTATION

Ikonnikov M. J. The method and technical statements of ventilation control of gas mines extraction sections. - Manuscript.

Dissertation paper for achieving of the Candidate Science Degree 05.26.01 – “Labor safety”, National Mining University, Dnipropetrovsk, 2010

The dissertation is devoted to improving of regularities of aero dynamic and geo mechanical changes of mining massif under the influence of second working. It presents the efficient ways of ventilation control at the extraction sections of the gas dangerous mines.

The specifics of gas source release are defined. It is in most cases for porous sandstone, in the spherical rock mass during working out of coal stratum. And it is set the interconnection of their destroying degree and aero dynamic regime of unsafe as for gas at the extraction part of coal mine. The mathematical model of dynamic

peculiarities for ventilation network of coal mine extracting section is developed for mine as the managing object. It was established the regularity between the scale of methane volume and the distance to the source of air distortion. They are differed by the accounting of air stream acoustic capacities. The method of radiometric control of methane inflow and detection of potentially dangerous areas of mining works are firstly proposed. The new method of ventilation and methane removal from the cleared off mine working sections is developed.

The research results are used in development and adoption of monitoring methods for aero gas parameters of extraction areas, for the method of ventilating and methane removal from the cleared off mine working sections. The virtual economic effect is received in the result of development usage.

Key words: safety of works, coal mine, second working, methane, extracting section, ventilation, ventilation network, aero gas dynamics.

ІКОННІКОВ Максим Юрійович

**ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ  
ПРОВІТРЮВАННЯМ ВІЙМКОВИХ ДІЛЬНИЦЬ ГАЗОВИХ ШАХТ**

(Автореферат)

Підписано до друку 14.04.10. Формат 60×90/16.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. авт. арк. 0,9.  
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 574

Національний гірничий університет  
49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19