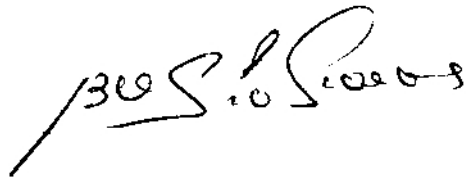


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**Король ВЯЧЕСЛАВ ІВАНОВИЧ**



УДК 622.234.5

**УДОСКОНАЛЕННЯ АКУСТИЧНОГО СПОСОБУ ПРОГНОЗУ  
ГАЗОДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ**

**Спеціальність 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка»**

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Дніпропетровськ – 2011**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Однією із значних проблем, що пов'язана з видобутком вугілля, є підвищений травматизм, як наслідок низки причин: складні гірничо-геологічні умови відпрацювання вугільних пластів, велика глибина, інтенсифікація ведення гірничих робіт, а також недостатня вивченість поведінки такої складної геомеханічної системи, якою є високонапружений, газонасичений вуглепородний масив, що послаблений системою підземних виробок. Особливо небезпечним в цьому відношенні є газодинамічні явища (ГДЯ), що реалізуються у гірничих виробках у вигляді раптових викидів вугілля, породи і газу. Розвиток подібних проявів гірського тиску призводить до тривалої зупинки технологічних процесів, і, як наслідок, до великих матеріальних витрат, а нерідко і до загибелі працівників.

Для боротьби з цим небезпечним проявом гірського тиску використовують спеціальні технології відпрацювання викидонебезпечних вугільних пластів, а також нормативний контроль за геомеханічним станом ділянки вуглепородного масиву, в межах якого виконуються гірничі роботи. Одним із найбільш перспективних способів безперервного контролю напружено-деформованого стану гірського масиву є спосіб, заснований на аналізі спектру штучного акустичного сигналу, що генерується у вибої виробки працюючими механізмами: прохідницькими та видобувними комбайнами, бурильними молотками тощо. Але використання існуючої апаратури для реалізації цього способу (АПСС, АК-1) все ще не дозволяє вести прогноз з достатньо високим рівнем надійності.

Тому, дослідження, що спрямовані на удосконалення способу прогнозу ГДЯ шляхом аналізу структури штучних акустичних коливань, є актуальною науково-технічною задачею, що має важливе соціальне і народно-господарське значення. Її вирішенню і присвячені дослідження, що виконані в дисертації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.** Робота виконана у відповідності з програмою науково-дослідних робіт Національного гірничого університету, яка пов'язана з держбюджетною темою ГП-366 "Закономірності катастрофічних проявів гірського тиску у підземних виробках" (№ держреєстрації 0105U000519).

**Мета дисертаційної роботи** полягає в удосконаленні акустичного способу прогнозу газодинамічних явищ у вугільних шахтах.

**Основна ідея роботи** полягає у тому, що геомеханічна система «вугільний пласт-породне середовище» розглядається як об'єкт стохастичної природи, повна інформація про який знаходиться у структурі акустичного сигналу у вигляді зареєстрованих незалежних параметрів.

**Об'єктом досліджень** є геомеханічні процеси, які розвиваються у високонапруженому газонасиченому вуглепородному масиві зі стохастичною структурою, що призводять до раптових викидів вугілля і газу.

**Предмет досліджень** - структура акустичних коливань, що містять інформацію про можливий розвиток газодинамічного явища.

**Основні задачі досліджень:**

- збір статистичних даних про газодинамічні явища, що сталися на шахтах України;
- аналіз джерел інформації про дослідження в області динамічних проявів гірського тиску;
- аналітичні дослідження в області акустичного зондування складно-структурного породного масиву;
- розробка ймовірно-стохастичної моделі аналізатора акустичної системи;
- виконання натурних вимірів у вугільних шахтах, небезпечних за газодинамічними явищами;
- удосконалення способу акустичного прогнозу ГДЯ на основі апаратури АК-1.

**Методи досліджень.** Методичну основу досліджень складає комплексний підхід, що полягає в аналізі джерел інформації в області прогнозу газодинамічних явищ і способів їх запобігання, технології розробки викидонебезпечних вугільних пластів, теорії поширення акустичних коливань в неоднорідних середовищах, механіки суцільного середовища, теорії ймовірностей і математичної статистики.

**Основні наукові положення, що захищаються у дисертації:**

1. Амплітудно-частотна характеристика штучного акустичного сигналу, що генерується руйнівним органом очисних механізмів, які працюють у лаві, функціонально пов'язана з рівнем граничного напруженого стану привибійної частини вугільного пласту, що дозволяє використовувати її в якості вихідної інформації при оцінці небезпеки виникнення газодинамічного явища.

2. Додаткові безрозмірні параметри акустичного сигналу  $K_2$  і  $K_3$ , котрі характеризують рівень викидонебезпечності, мають, слабкий функціональний зв'язок між собою і з основним параметром  $K_1$  з коефіцієнтом кореляції не вище 0,35, що дозволяє вести прогноз ГДЯ з імовірністю не нижче 0,875.

**Наукова новизна роботи:**

1. Доведений зв'язок кількості ГДЯ від глибини розробки вугільних родовищ та інтенсивності їх відпрацювання, що підвищує актуальність задачі, яка вирішується у дисертації.

2. На основі поставленої і вирішеної задачі про розповсюдження акустичної хвилі по вугільному пласту попереду вибою вперше доведено наявність функціональної залежності амплітудно-частотної характеристики штучного акустичного сигналу від рівня напруженого стану вуглепородного середовища, що дозволяє обґрунтовано використовувати його у якості способу прогнозу.

3. В результаті вирішення ймовірнісної задачі доведена і кількісно оцінена доцільність використання паралельного багатопараметрового аналізу штучного акустичного сигналу.

4. Вперше обґрунтована можливість використання двох додаткових параметрів  $K_2$  і  $K_3$ , що виділені із структури штучного акустичного сигналу, і доведена їх слабка функціональна залежність.

**Наукове значення роботи** полягає в тому, що встановлені закономірності збільшення кількості газодинамічних явищ у вугільних шахтах Донбасу

із збільшенням глибини відпрацювання вугільних пластів і зростанням видобутку вугілля, доведений зв'язок між рівнем граничного напруженого стану вуглепородного масиву навколо виробки та амплітудно-частотною характеристикою штучного акустичного сигналу, а також виділені в структурі акустичного сигналу нові критерії оцінки викиднебезпечності та доцільність їх застосування.

**Практичне значення роботи** полягає у:

- вдосконаленні способу акустичного прогнозу газодинамічних явищ у вугільних шахтах;
- вдосконаленні методики контролю викиднебезпечності вугільних пластів.

**Обґрунтованість та достовірність** наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечена застосуванням апробованих методів досліджень, таких як теорія розповсюдження акустичних коливань в шаруватих середовищах, механіка суцільного середовища, теорія ймовірностей і математична статистика, задовільними результатами натурних випробувань комплексу удосконалення апаратури АК-1.

**Реалізація результатів досліджень.** Запропоновані автором критерії викиднебезпечності та методика ведення прогнозу аномального напруженого стану вуглепородного масиву схвалені Центральною комісією з питань вентиляції, дегазації та боротьби з газодинамічними явищами Міністерства палива та енергетики України і рекомендовані для продовження роботи з удосконалення акустичної системи прогнозу газодинамічних явищ у вугільних шахтах (протокол № 50 від 22.12.2010 р.).

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні мети і основних завдань досліджень, зборі, обробці та аналізі інформації в області газодинамічних явищ в підземних виробках, у виконанні аналітичних, лабораторних та натурних досліджень, вдосконаленні «Методики оцінки напруженого стану вуглепородного масиву».

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень доповідалися на міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи освоєння підземного простору (Дніпропетровськ, 2007), міжнародних науково-технічних конференціях «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2008, 2009, 2010) та «Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання» (Дніпропетровськ, 2009), Міжнародному гірничому конгресі (Польща, Краків, 2009).

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень опубліковано 10 статей, у т.ч. 4 у спеціалізованих виданнях, і 6 у матеріалах науково-практичних конференцій та отримано 2 патенти.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 225 найменувань і 1 додатку. Робота викладена на 147 сторінках машинописного тексту, містить 32 рисунки, 5 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 193 сторінки.

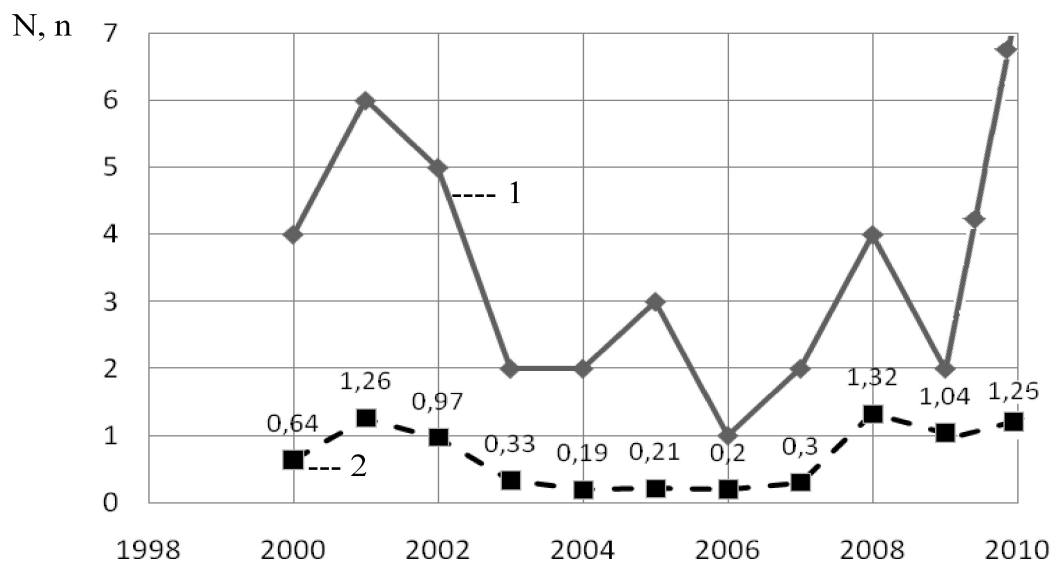
## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

При розробці вугільних пластів на глибоких горизонтах шахт прояви гірського тиску стають все більш інтенсивними. Одним з найбільш небезпечних серед них є газодинамічні явища. Зареєстровані вперше наприкінці 19 століття, вони відбуваються все частіше із збільшенням глибини та інтенсивності відпрацювання вугільних родовищ. Українські шахти, що видобувають на цей час близько 80 млн. тонн вугілля на рік, ведуть гірничі роботи на глибинах понад 1000 м. На кінець 2010 року розробку пластів, схильних до газодинамічних явищ, вели 63 шахти. Всього на 143 схильних до ГДЯ пластах у роботі знаходилися 203 очисні та 440 підготовчих і нарізаних виробок. При цьому, тільки в 2010 році сталося 55 ГДЯ, при яких було травмовано 10 осіб зі смертельним результатом. У табл. 1 наведено динаміку зміни відносного числа ГДЯ зі смертельним результатом за останні 10 років і числа смертельно травмованих робітників на 1 млн. тонн видобутого вугілля (рис. 1).

Таблиця 1

Інформація о газодинамічних явищах, що відбулися за період 2000-2010 р.р.

Роки	Раптові викиди, ви- давлювання і обвалення вугілля	Викиди вугілля і газу при БВР у режимі СП	Викиди при ди- станції	Викиди при вскритті пла- стів	Всього ГДЯ
2000	10	71	18	-	99
2001	11	68	20	1	100
2002	11	94	17	-	122
2003	5	54	14	1	74
2004	3	34	17	1	55
2005	4	27	6	-	37
2006	4	30	1	-	35
2007	6	29	-	-	36
2008	4	32	-	-	36
2009	4	35	-	-	39
2010	7	48	2	-	55



T, годы

Рис. 1. Зміна числа ГДЯ (N) із смертельним травматизмом (1) і відносного числа смертельно травмованих працівників (n) на 1 млн.т видобутку вугілля (2) по рокам (T)

З них випливає, що за сучасної технології видобутку вугілля, навіть застосовуючи струсне підривання, проблема раннього прогнозу та протидії ГДЯ на шахтах Україна залишається актуальною науково-технічною задачею, що має важливе соціальне і народногосподарське значення. Її вирішенню і присвячені дослідження, що виконані в дисертації.

Мета досліджень полягає в удосконаленні акустичного способу прогнозу газодинамічних явищ у вугільних шахтах.

Великий внесок у розвиток науки про ГДЯ зробили такі відомі закордонні і вітчизняні вчені, як Ф.А. Абрамов, О.В. Агафонов, А.Д. Алексєєв, Арнольд, Л.М. Биков, В.О. Бобін, І.О. Бобров, М. І. Большинський, О.М. Брюханов, Бубнофф, А.Ф. Булат, Жарліс, В.Є. Забігайло, А.М. Зорін, В.Г. Колесніков, О.А. Колесов, В.П. Коптіков, Лемер, О.М. Ліньков, С.П. Мінеєв, В.І. Ніколін, Одибер, І.М. Печук, І.М. Петухов, В.І. Пілюгін, Рібер, О.О. Рубінський, Руфф, О.О. Скочинський, К.К. Софійський, Г.П. Старіков, Г.М. Фейт, В.В. Ходот, С.О. Христанович та багато інших.

Існують різні думки з приводу того, як впливає глибина та інтенсивність відпрацювання вугільних родовищ на кількість ГДЯ. Одні дослідники вважають, що з глибиною будуть посилюватися пластичні властивості гірських порід і кількість викидів буде зменшуватися. Інші вважають, що зі збільшенням рівня напружень, що діють в масиві, кількість ГДЯ буде зростати. Для встановлення закономірностей у цьому напрямку в дисертації були виконані дослідження, що ґрунтуються на аналізі великого статистичного матеріалу. Була вивчена динаміка ГДЯ, що відбулися на шахтах Українського Донбасу, рівень видобутку вугілля за останні 25 років та темпи пониження гірничих робіт. Їх аналіз показів, що тенденція зміни у часі цих показників має схожий характер. На рис. 2 наведено як змінюється відносна щільність ГДЯ, кількість видобутого вугілля і глибина розробки в часі. Спостерігається виразна тенденція збільшення цих показників у часі.

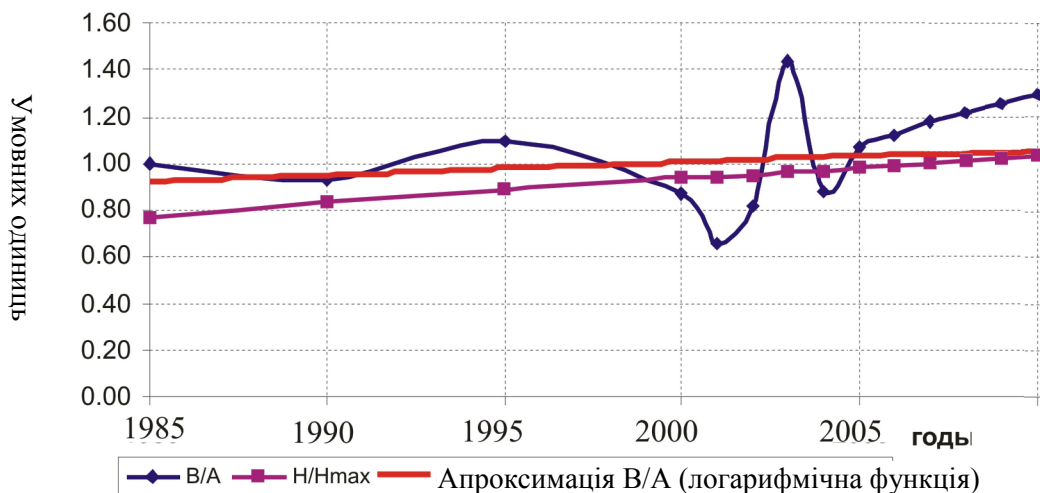


Рис. 2. Зміна відповідної щільності ГДЯ, рівня видобутку вугілля ( $B/A$ ) і глибини розробки у часі ( $H/H_{\max}$ )

Таким чином, проблема ГДЯ у вугільних шахтах з глибиною розробки і перспективою збільшення видобутку вугілля в Україні в 1,5 рази буде ставати все більш актуальною.

Відомо досить багато нормативних способів прогнозу ГДЯ. Акустичний спосіб зондування вуглепородного масиву є найбільш технологічним і, що особливо важливо, дозволяє вести прогноз ГДЯ безперервно. Процес поширення акустичних коливань в гірських породах до кінця ще не з'ясований. Існуючі методики прогнозу із застосуванням апаратури АК-1 або АПСС, засновані на емпіричних залежностях. Це обмежує можливості цих методик. Однак, точно відомо, що у процесі поширення акустичної хвилі і взаємодії з силовими і структурними неоднорідностями, що містяться у вугільному пласті, на її фронті відбувається закономірне збурення вихідного поля напружень і деформацій. Таким чином, між структурно акустичним сигналом, що поширюється у неоднорідному середовищі, і рівнем напружень повинен мати місце функціональний зв'язок. Для цього в роботі виконано аналітичне обґрунтування можливості застосування амплітудно-частотного аналізу для реєстрації зон з аномально високим рівнем напружень.

В роботі зроблено припущення про те, що тріщини Гріфітса, які утворюються при певному рівні напружень в привибійній області лави, мають резонансний відгук на силові дії, викликані акустичними коливаннями, що поширюються у вугільному пласті. На рис. 3 наведена схема поширення акустичних коливань у вугільному пласті попереду лави.

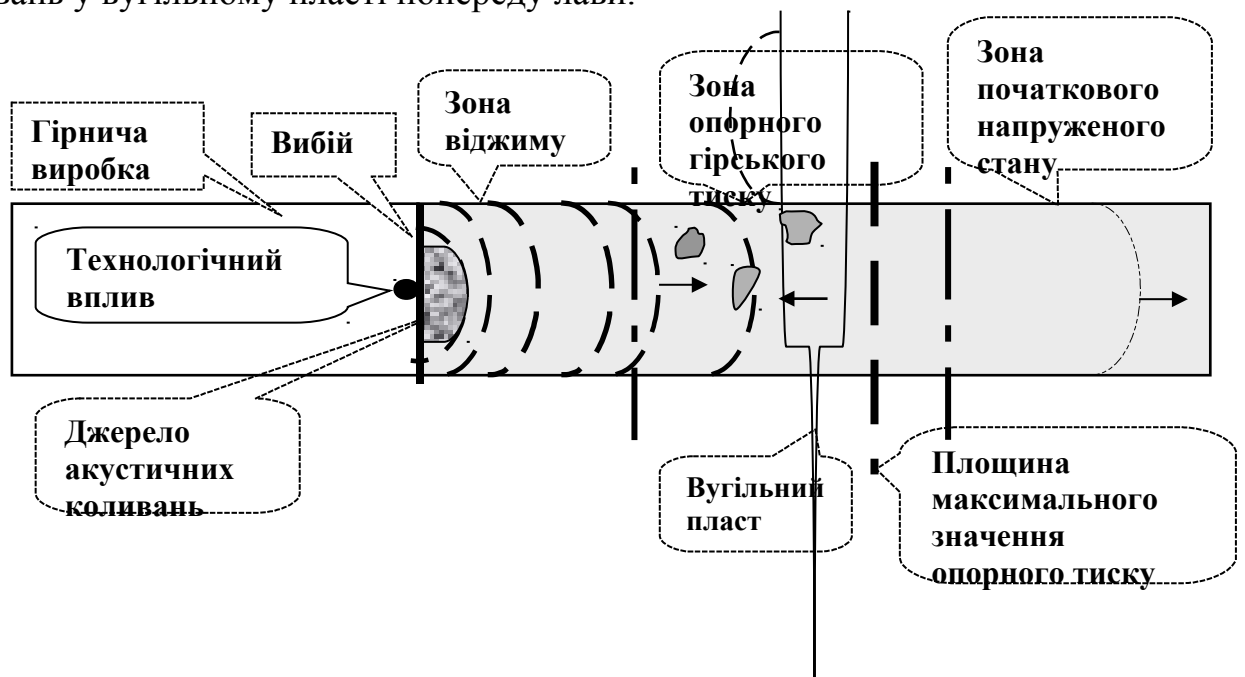


Рис. 3. Схема лінії, що передає (вугільного пласту) із скачкоподібною зміною параметрів

Акустичні коливання, що виникають у процесі руйнування вугілля ріжучим органом, поширюються вглиб пласта, як по хвилеводу, знімають всю інформацію про його силові і структурні неоднорідності, частково відбиваються від умовної площини максимуму опорного тиску і повертаються по вміщувачим породам до геофону. При цьому частина енергії хвилі безповоротно йде у вуглепородний масив.

Процес поширення пружних коливань у вугільному пласті можна розглянути в найпростішому варіанті, як хвильовий процес уздовж неоднорідної розподіленої лінії. Розрахункова схема для цього варіанту задачі наведена на рис. 4.

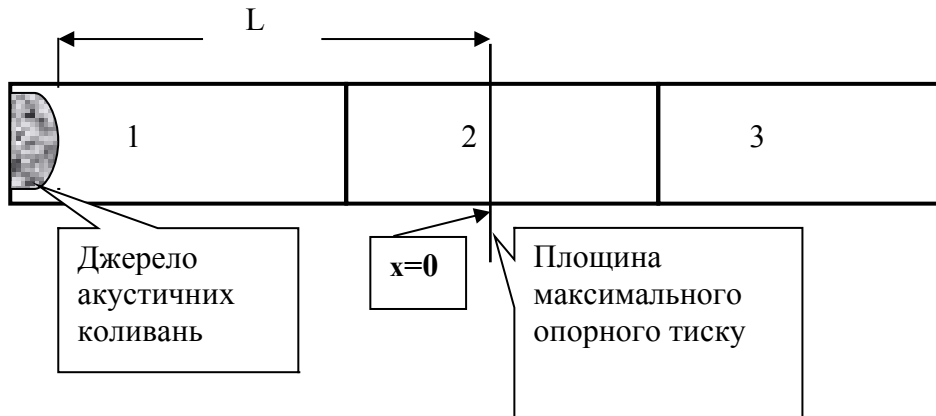


Рис. 4. Процес розповсюдження акустичних коливань у вугільному пласті: 1 – зона зруйнованого вугілля; 2 – зона опорного тиску; 3 – зона початкових напружень

Потужність випромінювання одиниці об'єму вугілля (породи) за квантово-механичними уявами, визначається як енергія одного фонону, який з'являється при утворенні тріщини у породному масиві помножена на кількість цих тріщин:

$$W = N^2 h \nu, \quad (1)$$

де  $N$  - число тріщин,  $h$  - константа Планка,  $\nu$  - частота випромінювання.

Потужність випромінювання одиниці об'єму вугілля породи при наявності  $N$  тріщин Гріфітса дорівнює у відповідності до основних положень динамічної мікромеханіки:

$$W = \frac{2(1-\mu)}{G \cdot \tau} \sigma_e^2 \cdot a^3, \quad (2)$$

де  $G$  - модуль зсуву,  $\mu$  - коефіцієнт Пуасона,  $\tau$  - тривалість імпульсу,  $a$  - довжина тріщини;  $\sigma_e$  - одноосьове еквівалентне напруження, що обчислюється за формулою:

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{1-\psi}{2\psi} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + \frac{1}{2\psi} \sqrt{(1-\psi)^2 (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 + 4\psi [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1)]}. \quad (3)$$

Тут  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  - головні напруження,  $\psi$  - коефіцієнт крихкості ( $\psi = \frac{R_p}{R_c}$ ),  $R_p, R_c$  - відповідно межі міцності гірських порід на одноосьове розтягнення і стиск.



Співвідношення (1) і (2) можуть бути прирівняні на основі припущення про незначне поглинання акустичного випромінювання у породному масиві на відстанях, що розглядаються. В результаті отриманий вираз:

$$\sigma_e = N \sqrt{\frac{G \cdot h \cdot v \cdot \tau}{2a^3(1-\mu)}}. \quad (4)$$

Таким чином, між тріщинами напруженого стиску вугільного (породного) масиву і частотою акустичного випромінювання існує функціональний зв'язок.

Потужність акустичного випромінювання при дискретному і безперервному спектрах відповідно можна визначити за наступними формулами:

$$W = \sum_{i=0}^{\infty} (A_i)^2 \tau_i = \frac{1}{2} \rho \times u_i^2 \omega_{ij}^2, \quad (5)$$

$$W = \int_0^{\infty} A(\tau) d\tau = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} u_0 du \int_0^{\infty} \omega d\omega, \quad (6)$$

де  $u_i$  – зміщення;  $\omega_{ij}$  – тензор обертання;  $u_0$  – величина початкових зміщень.

Потужність акустичного випромінювання може бути проаналізована шляхом розкладення штучного акустичного сигналу в ряд Фур'є:

$$F(t) = A_1(\cos \omega_1 t + \varphi_1) + \dots + A_n(\cos \omega_n t + \varphi_n). \quad (7)$$

Проведення спектрального аналізу паралельно з задачею, що вирішується, дозволяє вирішити ще одну - визначення ступеня напруженого стану досліджуваної області шляхом визначення безрозмірного коефіцієнта,  $k = \frac{A_B}{A_H}$ , який мож-

на вважати прогностичною ознакою викиднебезпеки, де  $A_B, A_H$  – коефіцієнти  $A_1, \dots, A_n$  ряду Фур'є відповідно в високо-і низькочастотних областях. Ці коефіцієнти відображають величину трасового загасання  $D$ , а також згасання в частотній області, тобто:  $A_1(\omega_1) = f(D), A_2(\omega_2) = f(D, \omega_i), i = 1 \dots n, A_n(\omega_n) = f(D, \omega_n), i = 1 \dots n$ .

Дані багаточисленних шахтних експериментальних досліджень показують, що у випадку  $k \geq 3$  має місце викиднебезпечних ситуацій і необхідні термінові заходи, щодо запобігання виникнення ГДЯ.

Енергія акустичного імпульсу, відповідно до теореми Парсеваля, може бути представлена відомою залежністю:

$$\int_0^{\tau} \sigma_e^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F^2(\omega) d\omega, \quad (8)$$

де  $F(\omega)$  – члени ряду Фур'є для імпульсу  $\sigma_e$ ,  $\omega$  – частота спектральних членів.

Формула (8) свідчить про взаємозв'язок напружено-деформованого стану масиву з амплітудно-частотною характеристикою акустичного сигналу. Таким чином, у результаті виконаних досліджень доведено, що амплітудно-частотна характеристика штучного акустичного сигналу, який генерується руйнівним органом працюючих в лаві очисних механізмів, функціонально пов'язана з рівнем граничного напруженого стану привибійної частини вугільного пласта, що дозволяє використовувати її в якості вихідної інформації при оцінці небезпеки виникнення газодинамічного явища.

На даний час відсутня єдина загальноприйнятна теорія, що пояснює причину виникнення ГДЯ. У зв'язку з цим пошук вирішення проблеми ГДЯ має два напрямки:

- прогноз можливого розвитку ГДЯ;
- виконання заходів щодо його запобігання.

З точки зору безпеки на перше місце виходить розробка надійного способу прогнозу ГДЯ. Враховуючи ту невизначеність, яка неминує виникає при аналізі стохастичної системи, якою за своєю природою є вуглепородний масив, основною вимогою до системи прогнозу ГДЯ є його безперервність. З усіх відомих методів найбільш зручним у цьому відношенні є акустичний метод прогнозу, запропонований в сімдесятих роках минулого століття С.В. Мірером і Є.В. Масленниковим в Дніпропетровському гірничому інституті. Аналогова апаратура АК-1, розроблена для реалізації цього способу, і сам метод є нормативними. Подібний нормативний метод, заснований на тих же принципах, реалізований і в апаратурі АПСС, що розроблена в МакНДІ вже із застосуванням комп'ютерної техніки. Конструктивно апаратура в обох варіантах складається з геофону, підземного блоку, лінії передачі сигналу і поверхневого блоку (рис. 5).

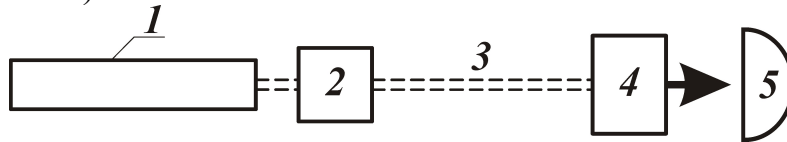


Рис. 5. Принципова схема апаратури АПСС и АК-1М: 1 – геофон; 2 – блок підземний; 3 – лінії передачі сигналу; 4 – блок поверхневий; 5 – блок візуалізації

В обох випадках аналізу піддається параметр  $K_1$ , що дорівнює відношенню амплітуди високих частот  $A_e$  і амплітуди низьких частот  $A_n$ :

$$K_1 = \frac{A_e}{A_n}. \quad (9)$$

Критичне значення цього параметра дорівнює 3.

Вірогідність вірного прогнозу за одним параметром не є високою. У зв'язку з цим в роботі виконано аналіз стохастичної системи «вуглепородний масив-приймач-аналізатор» з метою визначення шляхів підвищення надійності способу акустичного прогнозу. Структурна модель такої системи наведена на рис. 6.

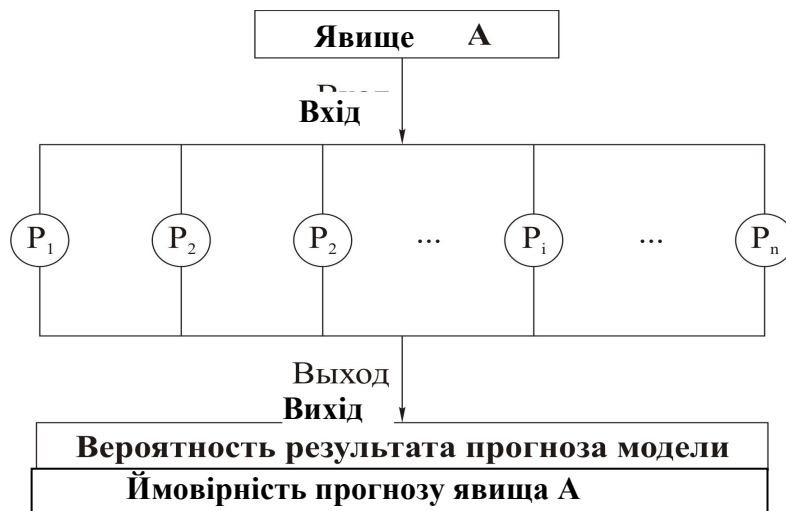
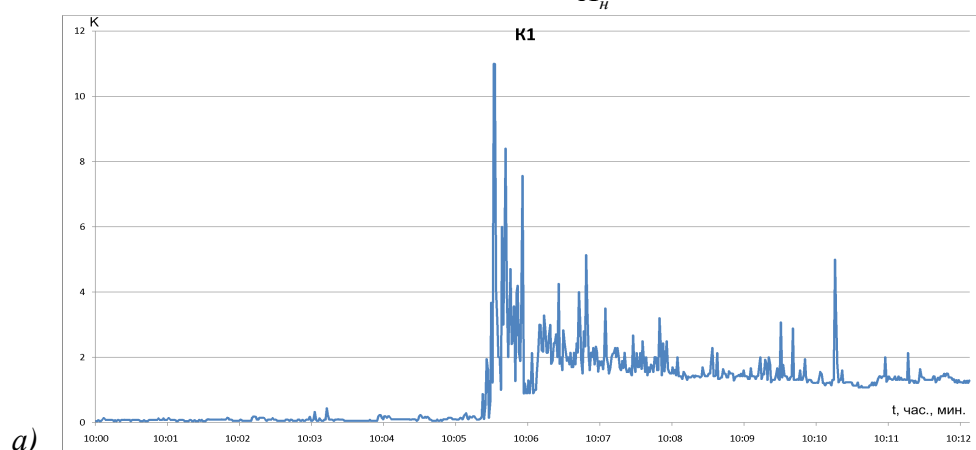


Рис. 6. Структурна модель системи «сигнал – приймач – аналізатор»

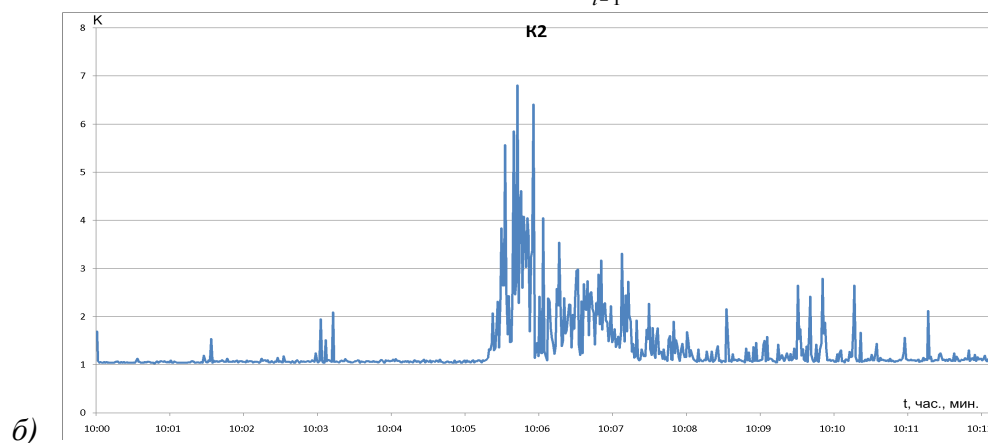
З неї випливає, що ймовірність вірного прогнозу стохастичного події, яким за своєю природою і є ГДЯ, тим вище, чим більше параметрів аналізується паралельно. Так, якщо при аналізі одного параметра ймовірність прогнозу дорівнює 0,5, що рівносильно вгадування «так-ні», то при трьох одночасно аналізованих параметрах вона зростає до 0,875, при чотирьох - до 0,97, що практично відповідає повній гарантії вірного прогнозу.

Для удосконаленого варіанту акустичної системи АК-1 були прийняті три параметри прогнозу: основний  $K_1$  і додаткові  $K_2$  і  $K_3$  (рис. 7).

$$K_1 = \frac{A_e}{A_n}$$



$$K_2 = \frac{S_i}{S_{i-1}}$$



$$K_3 = \frac{|S_i - S_{s-1}|}{2000\Delta t}$$

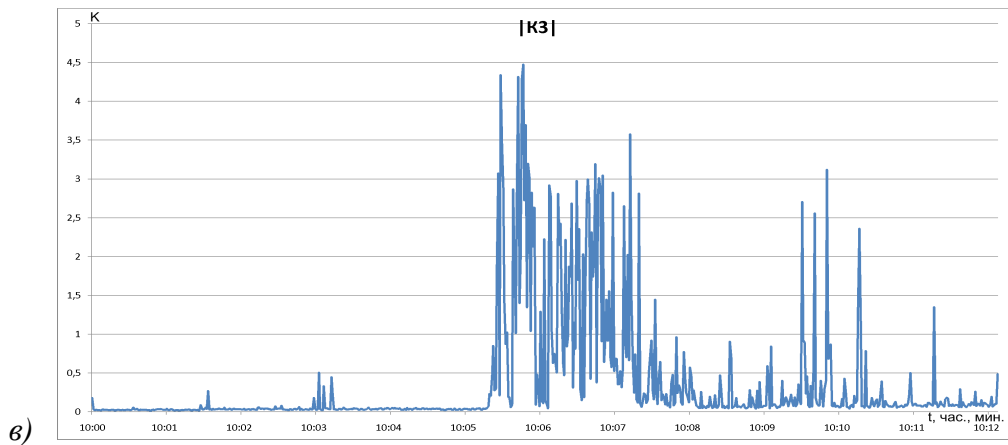


Рис. 7. Параметри акустичного сигналу, що аналізуються

Параметр  $K_2$  дорівнює відношенню площі спектру в поточний момент часу до площі спектру в попередній момент часу (див. рис. 7, а). Параметр  $K_3$  дорівнює відношенню абсолютного значення різниці площ спектру в поточний і наступний моменти часу (див. рис. 7, в). Тут же на рис. 7 наведено, як змінювалися ці параметри в часі у момент викиду на шахті ім. О.О. Скочинського, що стався в червні 2009 року. Видно, що всі вони мали резонансний відгук на ГДЯ, що відбулося.

Основною вимогою до параметрів прогнозу  $\epsilon$ , в ідеальному випадку, їх повна функціональна незалежність. Для складних технічних систем яким є гірничавиробка, достатньо мати слабку функціональну залежність, що відповідає коефіцієнту кореляції 0,4 і менше. Аналіз функціональних залежностей між досліджуваними параметрами при різних способах апроксимації показав, що коефіцієнт кореляції в усіх випадках не перевищував 0,35. Це свідчить про те, що запропоновані параметри акустичного сигналу  $K_2$  і  $K_3$  можуть бути використані в системі АК-1, що дозволяє вести прогноз ГДЯ з імовірністю на нижче 0,875.

Принцип обробки акустичного сигналу в апаратурі АК-1 захищений патентом України.

В якості об'єктів, на яких проводилося випробування вдосконаленої акустичної системи, були обрані шахти: «Краснолиманська», ім. О.О. Скочинського та «Красноармійська-Західна № 1». Період випробувань склав 5 років.

На рис. 8 наведені фрагменти запису з використанням параметрів  $K_1$ ,  $K_2$  і  $K_3$  з результатами статистичної обробки, що були отримані у виробках шахти «Краснолиманська», на якій відпрацьовувалися режими роботи удосконаленої апаратури АК-1М в період з 22.03.2008 до 05.06 2008 р.

Березень

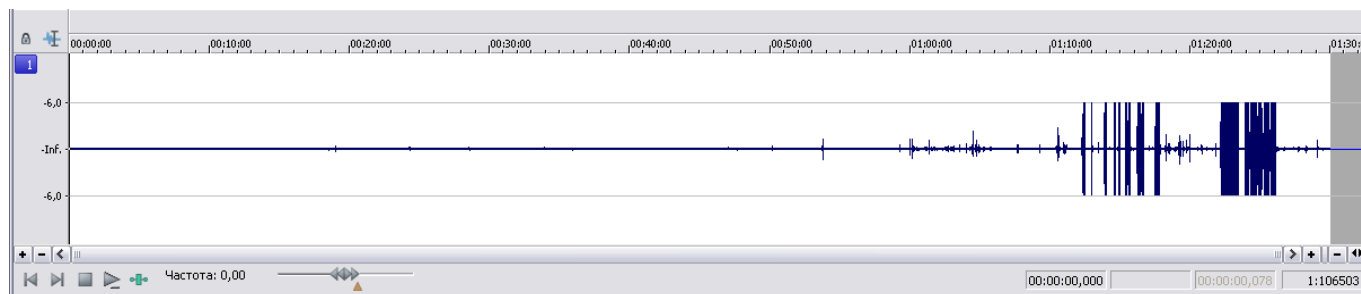


Рис. 8. Графік, що відповідає добовому прогнозу на основі показань апаратури АК-1М, за період з 22.03.2008 по 05.06.2008 р.р.

При цьому загинуло 11 осіб. Місце викиду знаходилося на відстані 800 м від місця встановлення геофону. Таким чином, була відзначена надзвичайна чутливість апаратури АК-1 і ефективність багатопараметричного способу прогнозу ГДЯ.

Методика проведення випробувань на шахті ім. О.О. Сковчинського була аналогічною. Викид в 2-ій західній лаві стався 06.06.2010 р. о 18 годині 56 хвилин. Загинуло 5 осіб. Вимірна станція була встановлена на відстані 2400 м від місця викиду і зафіксувала його за 30 хвилин до початку. На рис. 9 наведені фрагменти запису апаратури АК-1М, відповідні цій події. Аналіз запису показав, що: 1) викиду передувала його підготовка, що тривала 30 хвилин, 2) ГДЯ відбувалося поетапно, з навантаженнями і носило затухаючий характер і 3) рівень сигналів, що надійшли від джерела ГДЯ порівняний з рівнем сигналів від комбайна, що працюють в 50 м від геофону.

На шахті «Красноармійська-Західна № 1» спостереження велися в забої вентиляційного штреку 1-ї південної лави блоку 10. Траса виробки проходить поблизу Котлинського насування, що передбачає можливість виникнення ГДЯ. Прогноз виконувався в жовтні, листопаді, грудні 2010 року за трьома факторами  $K_1$ ,  $K_2$  і  $K_3$ . У період з 07 по 11 листопада апаратура зафіксувала можливість викиду (рис. 10).



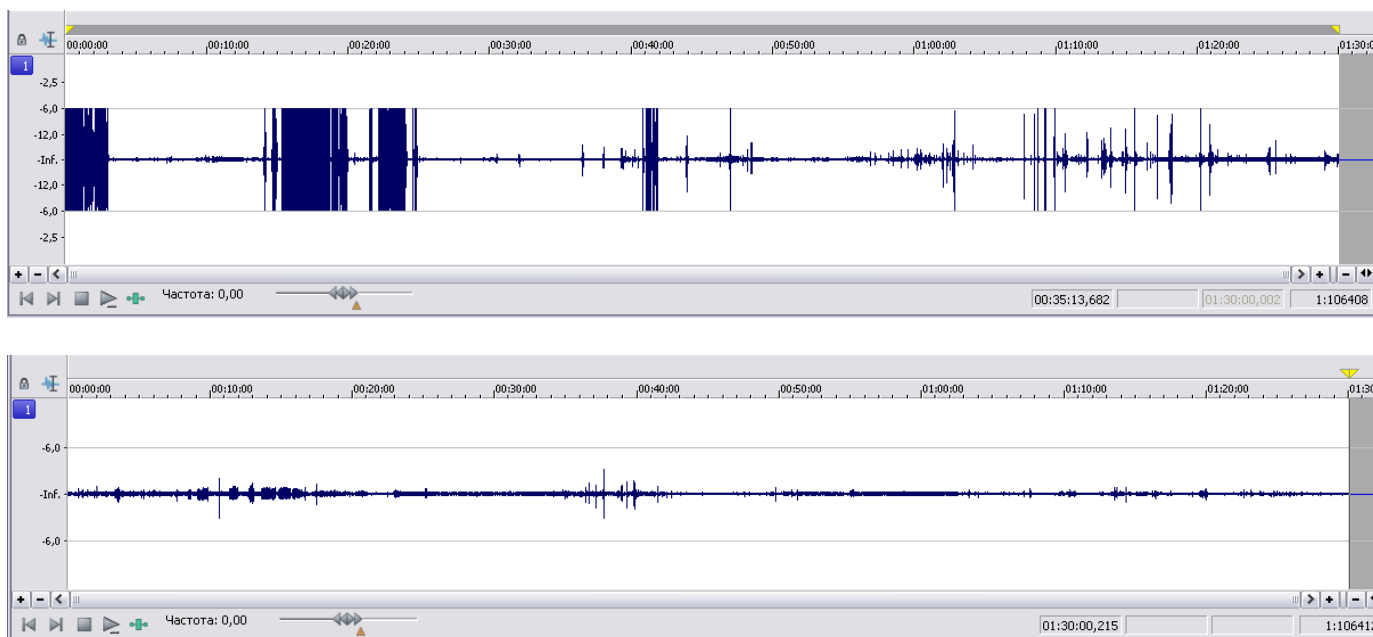


Рис. 9. Прогноз ГДЯ на ш. ім. О.О. Скочинського



Рис. 10 Показання комплексного критерію К за період нагляду

Проходка виробки була припинена. Після проведення противикидних заходів геомеханічна ситуація прийшла в норму і проходка штреку була подовжена. В даний час удосконалена апаратура АК-1 встановлена на вентиляційному штреку північної лави № 2 блоку 10.

Випробування апаратури АК-1 проводилися після узгодження з МакНДІ і Центральною комісією з викидів. У всіх зазначених вище випадках удосконалена апаратура АК-1 використовувалась не як спосіб прогнозу ГДЯ, а як інструмент для виконання НДР. Вони показали високу чутливість і надійність запропонованого способу прогнозу. Роботи щодо подальшого удосконалення акустичної системи і доведення її до промислового зразка в даний час продовжуються.

Запропоновані автором критерії викидонебезпечності та методика ведення прогнозу аномального напруженого стану вуглепородного масиву схвалені Центральною комісією з питань вентиляції, дегазації та боротьби з газодинамічними явищами Міністерства палива та енергетики України і рекомендовані

для продовження роботи з удосконалення акустичної системи прогнозу газодинамічних явищ у вугільних шахтах (протокол № 50 від 22.12.2010 р.).

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі наукового обґрунтування функціонального зв'язку штучного акустичного сигналу, що генерується у вибої виробки з рівнем граничного напруженого стану при вибійної частини вугільного пласту, виділені нові параметри оцінки ступеня викидонебезпечності вугільних пластів, які введені в алгоритм прогнозу, що дозволило вирішити актуальну науково-технічну задачу підвищення надійності прогнозу газодинамічних явищ у вугільних шахтах.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Вперше виконана комплексна оцінка впливу глибини і інтенсивності розробки газонасиченості вугільних пластів на кількість газодинамічних явищ у шахтах, що дозволяє оцінювати ступінь небезпеки їх реалізації.

2. Теоретично доведено, що між рівнем критичних напружень, що діють у приконтурному масиві, і амплітудно-частотною характеристикою штучного акустичного сигналу, що випромінюється руйнівними органами прямуючих у вибої механізмів, існує функціональний зв'язок, що обґрунтовано дозволяє використовувати спосіб акустичного зондування для прогнозу ГДЯ.

3. Виконані натурні вимірювання геомеханічних проявів гірського тиску в шахтах, що розробляють викидонебезпечні пласти, із застосуванням акустичної апаратури АК-1, що дозволило поліпшити конструкцію її окремих блоків, розробити нове програмне забезпечення, удосконалити методику прогнозу газодинамічних явищ.

4. У структурі штучного акустичного сигналу виділені два додаткових параметра, які рекомендовано використовувати в якості додаткової інформації про можливий розвиток газодинамічного явища.

5. Запропонована статистична модель аналізу акустичного сигналу зі стохастичною природою, що дозволило організувати нову архітектуру апаратури АК-1, що дозволяє вести прогноз з імовірністю, близькою до 0,875.

6. Встановлено, що акустична система АК-1 має високу чутливість, що дозволяє визначити джерело ГДЯ на відстані від 800 м (ш. Краснолиманська) до 2500 м (ш. ім. О. О. Скочинського).

### **Основні результати досліджень опубліковані у наступних роботах:**

1. Король В.И. Прогноз силовых и структурных неоднородностей в породном массиве методом акустического зондирования / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин, В.И. Король, В.П. Пустовойтенко // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2008. – № 1. – С. 142 – 150.

2. Король В.И. Теоретические основы и практика оперативного прогнозирования аварийных ситуаций в шахтах / В.И. Муравейник, С.А. Алексеенко, Ю.Ф. Булгаков, И.А. Шайхлисламова, В.И. Король // Науковий вісник НГУ, 2009 – № 9. – С. 46 – 50.

3. Король В.И. Имитационная система промышленной безопасности угольных шахт (ИСПБУШ) / С.К. Мещанинов, В.И. Король // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 1. – С. 19 – 21.

4. Король В.И. Акустическая система контроля напряженного состояния углепородного массива АК-1М / А.Н. Шашенко, Е.В. Масленников, И.В. Кондратюк, В.И. Король // Уголь Украины. – 2010. – № 11. – С. 31 – 34.

5. Пат. на корисну модель № 41261 Україна. Спосіб акустичного прогнозування раптових викидів вугілля, породи, та газу в підземних виробках / Шашенко О.М., Масленников Є.В., Сторчак С.О., Брюханов О.М., Король В.І., МПК Е 21 F 5/00. Заявл. 29.12.08; Опубл. 12.05.09; Бюл. № 9.

6. Пат. на винахід № 90604 Україна. Спосіб акустичного прогнозування раптових викидів вугілля, породи, та газу в підземних виробках та апаратура для його здійснення / Шашенко О.М., Масленников Є.В., Сторчак С.О., Брюханов О.М., Король В.І., МПК (2009) E21F 5/00. Заявл. 22.12.2008; Опубл. 11.05.10; Бюл. № 9.

7. Король В.И. Прогноз мелкоамплитудной нарушенности искусственно сформированными акустическими сигналами / Шашенко А.Н., Масленников Е.В., Король В.И. // Перспективы освоения подземного пространства: междунар. науч.-практич. конф. – Днепропетровск, 2007. – С. 5-12.

8. Король В.И. Газодинамические явления в угольных шахтах: история и современное состояние проблемы / В.И. Король. // Форум гірників. – 2007. Матеріали міжнародної конференції. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2007. – С. 60 – 63.

9. Korol V.I. Development of acoustic method for rock mass stressed state monitoring in the course of underground mining / S.B. Tulub, A.N. Shashenko, A.V. Ivanov, V.I. Korol // New challenges and Visions for mining 21-st World Mining Congress. 2008 / Poland. – p.106.

10. Король В.И. Прогноз силовых и структурных неоднородностей в породном массиве методом акустического зондирования / А.Н. Шашенко, А.В. Солодянкин, В.И. Король // Перспективы развития Восточного Донбасса Часть 1 / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2008. – С. 298 – 311.

11. Король В.И. Оперативный контроль состояния углепородного массива акустическим методом в условиях шахты «Краснолиманская» / В.И. Король, Ю.Д. Шмаков // Форум гірників – 2008. Матеріали міжнародної конференції. – Д.: Національний гірничий університет, 2008. – С. 78 – 84.

12. Король В.И. Оценка возможности дистанционного зондирования углепородного массива с помощью акустической системы АК-1М / В.И. Король // Форум гірників – 2009. Матеріали міжнародної конференції «Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2009. – С. 152 – 156.

**Особистий внесок автора** у роботах, опублікованих у співавторстві: обробка статистичного матеріалу, формулювання висновків [1-3], постановка задач досліджень, аналіз інформаційних джерел [4-7], натурні вимірювання [1, 10, 11], пошук аналізів [5, 6].



## АНОТАЦІЯ

**Король В.І. “Удосконалення акустичного способу прогнозу газодинамічних явищ у вугільних шахтах”. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка». – ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2011.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі підвищення надійності прогнозу газодинамічних явищ.

У роботі виконана обробка статистичного матеріалу щодо ГДЯ, які відбулися на вугільних шахтах Донбасу за останні 25 років. Встановлена закономірність проявів ГДЯ від глибини розробки та інтенсивності відпрацювання вугільних пластів. Доведено на основі вирішення задачі розповсюдження акустичної хвилі у структурно неоднорідному середовищі із тріщинами Гриффітса, що структура акустичного сигналу функціонально пов'язана з рівнем руйнуючих напружень у вугільному пласті. Із структури акустичного сигналу вилучено два додаткових критерію викидонебезпечності, що дозволило при паралельній їх обробці підвищити ймовірність вірного прогнозу до 0,875. Удосконалення метода прогнозу ГДЯ прийняли перевірку на шахтах Донбасу, що підтвердила її високу надійність.

**Ключові слова:** газодинамічні явища, акустична хвиля, прогноз безперервний, ймовірність прогнозу, напружений стан вугільного пласту, структура акустичного сигналу.

## АННОТАЦИЯ

**Король В.И. Совершенствование акустического способа прогноза газодинамических явлений в угольных шахтах. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». – ГВУЗ «Национальный горный университет», 2011.

Диссертация посвящена решению актуальной задачи прогноза газодинамических явлений в угольных шахтах.

Выполнен анализ информационных источников в области теории возникновения газодинамических явлений, что позволило сформулировать цели, идею и основные задачи исследований.

В результате обработки большого статистического материала о произошедших за последние 25 лет ГДЯ было установлено, что количество внезапных выбросов угля, породы и газа в угольных шахтах растет с увеличением глубины и интенсивности обработки угольных пластов, по линейной зависимости, что позволяет на этой основе вести прогноз предполагаемой опасности.

Поставлена и решена задача о распространении акустической волны в структурно неоднородном угольном пласте, который рассмотрен как волновод, и ее взаимодействие с трещинами Гриффитса. При этом сделано предположение, что мощность акустической волны, генерируемой трещинами Гриффитса,

равна мощности поглощенной части искусственных акустических колебаний. Доказано, что амплитудно-частотная характеристика акустического сигнала связана функционально с уровнем разрушающих напряжений в угольном пласте, что позволяет обосновано использовать способ акустического прогноза в угольных шахтах.

На основе решения вероятностной задачи доказана эффективность параллельного анализа структуры, акустического сигнала по трем независимым параметрам которые выделены и доказана их слабая функциональная зависимость. На этой основе разработана методика прогноза ГДЯ и внесены соответствующие изменения в алгоритм основного сигнала. Вероятность верного прогноза повышена до 0,875.

Натурные исследования проводились в шахтах, опасных по ГДЯ. В качестве объектов исследования выбраны шахты «Краснолиманска», им. А.А. Скочинского, «Красноармейская-Западная №1 ПАО («ШУ» «Покровское»). При этом аппаратура АК-1 не использовалась в качестве нормативного инструмента прогноза. В результате выполненных испытаний на первых двух шахтах доказана высокая чувствительность и надежность аппаратуры, которая позволила зарегистрировать формирующиеся газодинамические явления на расстоянии, соответственно, 800 и 2400 м. На шахте «Красноармейская-Западная №1 (ПАО «ШУ» «Покровское») аппаратура зарегистрировала и наличие в углепородном массиве разрывных нарушений и связанное с ним повышение уровня напряжений. После выполнения противовыбросных мероприятий проведение выработки было продолжено.

**Ключевые слова:** газодинамические явления, акустическая волна, структура акустического сигнала, непрерывный прогноз, вероятность прогноза, вероятно-статистическая модель, напряженное состояние угольного пласта.

## ANNOTATION

**Korol' V.I. Improving of the acoustic method of prediction of gas-dynamic phenomena in coal mines. - Manuscript.**

Thesis for obtain of scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.15.09 - "Geotechnical and rock mechanics. – State Higher Educational Institution “National Mining University”, 2011.

The dissertation is devoted to solving the actual problem of prediction of gas-dynamic phenomena in coal mines.

As a result of processing of large statistical data about gas-dynamic phenomena over the last 25 years it was found that with increasing depth and intensity of processing of coal seams the number of sudden coal and rock bursts, and gas release in coal mines increases with the linear dependence that allows, on this basis to forecast anticipated danger.

Formulated and solved the problem of acoustic wave propagation in structurally inhomogeneous coal seam, which is considered as a waveguide, and its interaction with a Griffith crack. In this case, it was assumed that the power of the acoustic wave generated by Griffith crack is equal to the absorbed part of the artificial acoustic os-

cillations. It is proved, that the frequency response of acoustic signal functionally related to the level of fracture stresses in the coal seam.

On the basis of probabilistic solutions of the problem it is proved the effectiveness of the parallel analysis of the structure, the acoustic signal on the three independent parameters which were selected and shown to be weak functional dependence among them. On this basis, developed a method of forecasting the gas-dynamic phenomena and made appropriate changes to the algorithm of the main signal. The probability of correct prediction increased to 0.875.

Full-scale studies were conducted in the mines, are being hazardous on gas-dynamic phenomena. As objects of study it was chosen mine Krasnolimanskaya, Skochinskogo mine, "Krasnoarmiyska-Zahidna № 1". Then apparatus AK-1M was not used as a standard means of prediction. The tests proved the high sensitivity and reliability of the equipment, which allowed not only do predict gas-dynamic phenomena, but the presence of faults in coal and rock array.

**Key words:** gas-dynamic phenomena, the acoustic wave, the structure of the acoustic signal, a continuous forecast, probability of the forecast, probabilistic and statistical model, the stress state of the coal seam.