

6. Ольховиченко А.Е. Прогноз выбросоопасности угольных пластов. – М.: Недра, 1982. – 278 с.
7. Минеев С.П., Рубинский А.А. Проведение работ проходческими комбайнами по выбросоопасным угольным пластам и породам. – Д.: Дніпро, 2007. – 383 с
8. Минеев С.П. Свойства газонасыщенного угля. – Д.: НГУ, 2009. – 220 с.

Розглянуто основні методики оцінки викидонебезпечності гірського масиву за результатами встановлення міцнісних властивостей вугілля та порід. Методики ґрунтовані на використанні існуючого міцнісноміра типу П-1 конструкції ІГД ім. О.О. Скочинського та приладу для визначення деформаційних та міцнісних властивостей викидонебезпечного масиву, розробленого в ІГТМ НАН України. Наведено принципові схеми цих приладів та методики визначення міцнісних та деформаційних властивостей вугілля та порід, що вміщують пласт вугілля. Прилад конструкції ІГТМ НАНУ та методика його використання захищені патентом. У цілому, сформульована методологія використання шахтних експрес-методик для прогнозу газодинамічного стану вуглепородного масиву під час ведення гірничих робіт.

Ключові слова: *вугільний пласт, прогноз викидонебезпечності, міцнісномір, експрес-методика, принципова схема приладу*

The basic methods of estimation of liability to outburst of mountain massive resulting on strength properties of coal have been considered. Methods are based on the use of existing device P-1 constructed in A.A. Skochinsky IGD and device for determination of deformation and strength properties of outburst-prone massive, developed in IGTM NASU. The principle schemes of these devices and methods of determination of deformation and strength properties of coal and enclosing rock have been described. Device of IGTM NASU construction and the method of its use are protected by the patent. In general it has been formulated the methodology of application of mine express-methods to prognosticate the gas-dynamic state of coal massive during mining.

Keywords: *coal seam, prognosis of outburst hazard, device for measuring of strength properties, express-method, principal scheme of device*

Рекомендовано до публікації д.т.н. А.М. Роєнком 06.01.10

УДК: 622.02.001.57

© Павлиш В.М., Гребьонкіна О.С., 2010

В.М. Павлиш, О.С. Гребьонкіна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГІДРОПНЕВМОДИНАМІЧНОЇ ДІЇ НА МАСИВ ГІРСЬКИХ ПОРІД

V.M. Pavlysh, A.S. Grebyonkina

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF HYDROPNEUMODINAMICAL ACTION ON THE ROCK MASSIF

Масиви гірських порід, що вміщують вугільні пласти, є джерелом метановиділення, для боротьби з яким запроваджується дегазація. З метою інтенсифікації процесу дегазації застосовується спосіб гідропневматичної дії. Для теоретичних досліджень процесу дії на масив необхідно розробити математичну модель, що дозволить використовувати комп'ютерні технології моделювання та розрахунку параметрів.

Ключові слова: *дегазація, моделювання, вугільні пласти, метановиділення*

Актуальність роботи. Метановиділення з вугільних пластів та породних масивів є одним з найнебезпечніших явищ при підземному вуглевидобутку. Основним засобом боротьби з цим явищем є дегазація, що здійснюється шляхом відкачки газу з підземних свердловин та з поверхні. Для інтенсифікації дегазації запропоновано впровадження гідропневматичної дії, яка призводить до певного порушення структури масиву, розкриття тріщин, що підвищує потік метану до свердловин і, відповідно, ефективність дегазації. Теоретичні дослідження дії потребують розробки адекватної математичної моделі, на основі якої можна забезпечити використання комп'ютерних технологій для моделювання та розрахунку параметрів технологічних схем. У зв'язку з цим тема роботи є актуальною.

Мета роботи – розробка адекватної математичної моделі процесу гідропневматичної дії на породний масив, що враховує не тільки рух рідини, тазу та газоповітряної суміші, а й зміщення часток твердої фази.

Як відзначається в роботах багатьох учених [1, 2, 3, 4], розробка сучасних методів розрахунку параметрів процесу можлива на основі теоретичних і фізичних положень про фільтрацію рідини й газу у вугільних та породних масивах із застосуванням методів обчислювальної математики та засобів обчислювальної техніки. При цьому основним у дослідженнях стає метод математичного моделювання.

Ефективність застосування методу визначається коректністю та ступенем адекватності математичної моделі.

В роботі [2], що узагальнює результати досліджень відомих вітчизняних та зарубіжних учених, дається фізичне обґрунтування та формулювання рівнянь пружної фільтрації рідини у глибинних пластах. Аналіз літератури показує, що саме такий підхід дає найбільш надійні результати, тому в даній роботі розглянуто можливість використання отриманих авторами [2] результатів до побудовання математичної моделі процесу руху рідини у вугільному пласті або породному масиві.

Початкові фізичні передумови до формулювання рівнянь.

Розглядаються пористі гірські породи, що розташовані на великій глибині і знаходяться під тиском вище лежачих шарів, аналізуються малі збудження напруженого стану гірської пористої породи, які виникають при нагнітанні рідини та газу (газоповітряної суміші).

З аналізу теоретичних та практичних робіт витікає, що вихідна система рівнянь може бути записана у вигляді

$$(14 n_{\text{Э0}}) \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + \psi_2^0 \frac{\partial w_i}{\partial t} \right) - 2 \frac{\partial \delta_{ij}}{\partial x_j} - 4 \frac{\sigma}{a_0} n_{\text{Э0}} \int (14 n_{\text{Э0}}) (w_i + 4 u_i) + 2 (n_{\text{Э0}} (\psi_1^0 + 4 \psi_2^0)) g_i = 0; \quad (1)$$

$$\psi_2 \frac{\partial w_i}{\partial t} - 2 \frac{\partial P}{\partial x_i} - 2 \frac{\sigma}{a_0} n_{\text{Э0}} (14 n_{\text{Э0}}) (w_i + 4 u_i) + 2 \psi_2 g_i = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial n_{\text{Э}}}{\partial t} - 4 \frac{\eta_1}{3} \frac{\partial \chi^f}{\partial t} - 4 \eta_1 (14 n_{\text{Э0}}) \frac{\partial P}{\partial t} - 2 \zeta_1 (14 n_{\text{Э0}}) \frac{\partial T_1}{\partial t} - 4 (14 n_{\text{Э0}}) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0; \quad (3)$$

$$\frac{\partial n_{\text{Э}}}{\partial t} - 2 \eta_2 n_{\text{Э0}} \frac{\partial P}{\partial t} - 4 \zeta_2 n_{\text{Э0}} \frac{\partial T_2}{\partial t} - 2 n_{\text{Э0}} \frac{\partial w_i}{\partial x_i} = 0; \quad (4)$$

$$(14 n_{\text{Э0}}) c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} - (14 n_{\text{Э0}}) D_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} - 4 (14 n_{\text{Э0}}) \zeta_1 T_0 \frac{\partial \omega}{\partial t} - 2 \theta (T_2 + 4 T_1); \quad (5)$$

$$n_{\text{Э0}} c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} - n_{\text{Э0}} D_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} - 2 n_{\text{Э0}} \zeta_2 T_0 \frac{\partial P}{\partial t} - 4 \theta (T_2 + 4 T_1); \quad (6)$$

$$\omega_{ij}^f - (14 n_{\text{Э0}}) (\zeta_1 \kappa_{ij} + 2 \zeta_2 e_{ij}) - 2 \eta_1 k P t_{ij} - 2 \zeta k T_1 t_{ij}. \quad (7)$$

Тут (1), (2) – рівняння переміщення твердої та рідинної фаз; (3), (4) – рівняння нерозривності фаз; (5), (6) – рівняння збереження енергії для фаз; (7) – співвідношення, що пов’язує напруження σ_{ij} і тиск P зі змі-

щеннями (деформаціями) скелету середовища, воно дозволяє розглядати систему (1)–(7) як замкнену.

Позначення: x_i – вісі координат, $a_0 = k(1 - n_{\text{Э0}})$ – коефіцієнт гідравлічної протидії середовища, пропорційний проникності; c_j – питома теплоємність j -ї фази; λ_i – коефіцієнти Ламе (характеризують параметри розшарування середовища); D_j – коефіцієнт теплопровідності j -ї фази; e_{ij} – тензор деформації скелету середовища; δ_{ij} – одиничний тензор; g_i – компоненти сили тяжіння; k – проникність (k_0 – „стаціонарна, початкова“ проникність); $n_{\text{Э}}$ – пористість ($n_{\text{Э0}}$ – „початкова“ пористість); $k(1 - n_{\text{Э0}})$ – модуль всебічного стискання скелету середовища; P – тиск; t – час; T_j – температура j -ї фази; u_i – компонента швидкості руху твердої фази; w_i – середня („істинна“) швидкість рідини; $W_i = n_{\text{Э}} w_i$ – швидкість фільтрації; α_j – коефіцієнт об’ємного розширення j -ї фази; β_j – ізотермічна стисканість j -ї фази; ε – параметр зцементованості гірської породи; $\lambda_j(1 - n_{\text{Э0}})$ – пружні коефіцієнти Ламе ($j = 1, 2$); μ – динамічна в’язкість рідини (μ_0 – „початкова“ в’язкість); ρ_j – щільність j -ї фази (ρ_0 – „початкова“ щільність); σ_{ij} – компонента істинної напруги у твердій фазі; σ_{ij}^f – компонента ефективного („фіктивного“) напруження; ∇^2 – оператор Лапласа; θ – коефіцієнт міжфазового обміну; θ_j – параметр у рівнянні стану j -ї фази.

Дана система відображує загальну постановку задач руху рідини та газів у глибинних пористих породах.

Як витікає з виду рівнянь руху та нерозривності для рідини [5], до них входять швидкості руху рідини та зсувів твердих часток

$$\frac{\partial P}{\partial x_i} - 4 \frac{\sigma}{k} n_{\text{Э}} (w_i + 4 u_i); \quad (8)$$

$$\frac{\partial n_{\text{Э}}}{\partial t} - 2 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_i} n_{\text{Э}} w_i = 0. \quad (9)$$

Ураховуючи, що гідропневмодинамічна дія відбувається з високим перепадом тиску, дані рівняння відображують гідродинаміку дії.

Рівняння для фільтрації газу повинні враховувати можливі явища турбуленції, в результаті чого отримується нелінійне рівняння виду

$$\frac{\partial P^2}{\partial x_i} - 4 \frac{\sigma}{k} n_{\text{Э}} (v_i + 4 u_i), \quad (10)$$

де v_i – середня швидкість руху газоповітряної суміші.

Повна математична модель процесу має містити комплекс математичних залежностей, на основі яких можна представити хід процесу та розрахувати його параметри. У даному випадку для отримання математичної моделі процесу гідропневмодинамічної дії на масив, рівняння (8)–(10) мають бути доповнені початковими та граничними умовами, які, в свою чергу, визначаються технологічними схемами та режимами обробки. Виходить, постановка задачі дослідження та розрахунку параметрів процесу формується у відповідності до конкретної технологічної схеми.

У початковий момент часу $t = 0$ задається розподіл тиску в області фільтрації

$$P(x_i, t) \Big|_{t=0} = P_0. \quad (11)$$

На свердловині задається режим тиску

$$P(x_i, t) \Big|_{x_i = x_i^C} = P_C(t) \quad (12)$$

або темп нагнітання

$$A_{G_c} \frac{k}{\sigma} \frac{\epsilon P(x_i, t)}{\epsilon n} ds = cq(t), \quad (13)$$

де $P_C(t)$ – тиск на свердловині; x_i^C – координати свердловини; G_c – контур свердловини; $q(t)$ – темп нагнітання; c – коефіцієнт, що залежить від розмірності.

На межі області фільтрації задається або тиск, якщо область обмежена свердловинами чи виробками, або умови непроникності на контакті з бічними породами чи на „безкінечності“ (коли обробляється незайманий масив)

$$P(x_i, t) \Big|_{\Gamma} = P_{\Gamma} \quad (14)$$

чи

$$\frac{\epsilon P(x_i, t)}{\epsilon n} \Big|_{\Gamma} = 0, \quad (15)$$

де Γ – межа області фільтрації; P_{Γ} – тиск на межі області.

Таким чином, математична модель процесу формується на основі рівнянь (8)–(10), доповнених крайовими умовами, що обираються з (11)–(15) відповідно до технологічної схеми дії.

Висновки. У роботі обґрунтовано математичну модель і сформульовано задачі дослідження параметрів процесу гідропневмодинамічної дії на вугільні пласти та породні масиви, які вичерпують основні схеми дії. Технологічні схеми з будь-яким розташуванням свердловин будуть частковими випадками розглянутих задач. Подальша робота полягає у виборі математичних методів і розробці алгоритмів розв’язання кожної з розглянутих задач та їх реалізації з використанням комп’ютерних технологій.

Список літератури

1. Ножкин Н.В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений. – М.: Недра, 1979. – 271 с.
2. Механика насыщенных пористых сред /В.Н. Николаевский, К.С. Басниев, А.Т. Горбунов, Г.А. Зотов. – М.: Недра, 1970. – 336 с.
3. Методы математического моделирования гидрогеологических процессов. / Абуталиев Ф.Б. и др. – М.: Недра, 1972. – 285 с.
4. Айруни А.Т. Основы предварительной дегазации угольных пластов на больших глубинах. – М.: Наука, 1970. – 79 с.
5. Павлыш В.Н. Развитие теории и совершенствование технологии процессов воздействия на угольные пласты: Монография. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2005. – 347 с.

Массивы горных пород, вмещающих угольные пласты, являются источником метановыделения, для борьбы с которым внедряется дегазация. С целью интенсификации процесса дегазации применяется способ гидропневматического воздействия. Для теоретических исследований процесса воздействия на массив необходимо разработать математическую модель, что позволит использовать компьютерные технологии моделирования и расчета параметров.

Ключевые слова: дегазация, моделирование, угольные пласты, метановыделение

The rock massifs, that contain coal strata, are the sources of ejecting of mine gas. Its control is provided by extraction of gas. With the aim of intensifying of extraction process hydropneumodynamical action is applied. For theoretical investigations of process of action it is necessary to create mathematical model that allows using computer technology for modeling and calculation of parameters.

Keywords: gas remove, modeling, coal stratum, ejecting of mine gas

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Бондаренком 26.08.10

УДК 622.28

© Кононенко М.М., 2010

М.М. Кононенко

РОЗВИТОК РУЙНІВНИХ ДЕФОРМАЦІЙ НАВКОЛО ОЧИСНИХ КАМЕР І ЇХ ВПЛИВ НА НАРІЗНІ ВИРОБКИ

М.М. Kononenko

DEVELOPMENT OF DESTROYING DEFORMATIONS ROUND EXTRACTION CAMERAS AND THEIR INFLUENCE ON BREAKOFF

Виконано аналітичні дослідження областей деформації масиву гірських порід навколо первинних очисних камер. Визначено області цих деформацій, які поширюються в масиві руди лежачого боку і в масиві руди висячого боку у похилого днища камер. Виконано дослідження впливу глибини закладення очисних камер на вміщуючий масив гірських порід. Встановлено, що зі збільшенням глибини закладення очисних камер відбувається зростання областей