

Лобода В.В., канд. техн. наук (НИИГМ им. М.М.Федорова)

## ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ СТВОРЕННЯ ПІДЗЕМНИХ МОДУЛЬНИХ АЗОТНО-КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ (ПАКС) ДЛЯ ГЛИБОКИХ ШАХТ

*Обґрунтована необхідність створення підземних модульних азотно-компресорних станцій ПАКС для глибоких шахт. Розглянуті деякі аспекти ефективного використання газоподібного азоту в технологічному процесі вуглевидобування. Виконана кількісна оцінка параметрів процесу інертизації вибухонебезпечного середовища безпосередньо в очисному вибої.*

*Обоснована необходимость создания подземных модульных азотно-компрессорных станций ПАКС для глубоких шахт. Рассмотрены некоторые аспекты эффективного использования газообразного азота в технологическом процессе угледобычи. Выполнена количественная оценка параметров процесса инертизации взрывоопасной среды непосредственно в очистном забое.*

*Grounded the necessity of the creation of the underground module nitrogen-compressor stations for the deep mines. Examined some aspects of the effective usage of the gas nitrogen in the technological process of the coal extraction. Fulfilled the quantity value of the parameters of the inertization process of the gas dangerous field directly in the mining face.*

**КС:** шахта, подземная азотно-компрессорная станция, газообразный азот, инертизация, очистной забой.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Глибокі шахти, як правило, відпрацьовують вугільні пласти з підвищеним змістом метану. Метаноінтенсивність пластів впливає на безпеку ведення гірничих робіт і обсяг вуглевидобутку. Це пов'язано з виділенням газу метану при руйнуванні гірського масиву у видобувних і прохідницьких вибоях до небезпечних концентрацій (більш 1%), при яких робота гірничих машин не припустима. Традиційна дегазація, що проводиться на шахтах, не завжди забезпечує необхідну безпеку ведення гірничих робіт і не дозволяє цілком реалізувати високопродуктивну техніку, що істотно обмежує темпи ведення гірничих робіт з видобутку вугілля. Тому дану проблему необхідно вирішувати, наприклад, за рахунок інертизації вибухонебезпечного середовища інертним газом при проведенні гірничих робіт.

Небезпечні скупчення метану в гірських виробленнях нерідко є однією з причин виникнення підземних пожеж і вибухів на шахтах.

Для боротьби з підземними пожежами ВГРС останнім часом використовують розроблені «ВНДІ «Компресормаш» і НДІГМ ім. М.М.Федорова поверхневі мобільні азотні станції АМВП-15/7. Для транспортування цих станцій від місця дислокації у взводах ВГРС на шахти та їх розгортання при виникненні підземних пожеж потрібен досить нетривалий час, що дає можливість суттєво розповсюджуватися підземній пожежі і завдати значної шкоди шахті. Це істотно знижує ефективність застосування поверхневих азотних станцій, що виробляють і подають по трубопроводах інертний газ азот до підземного вогнища пожежі для інертизації вибухонебезпечного середовища.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Досить багато наукових досліджень присвячено розв'язанню причин появи небезпечних концентрацій газу метану в гірських виробленнях після проведення дегазації вугільних шарів відомими методами [1,2,3]. У цих роботах також дана

---

кількісна оцінка інтенсивності метановиділення з вугільних пластів різної паруватості при веденні гірничих робіт.

Робота [4] присвячена перспективам застосування азотних станцій на шахтах при локалізації і гасінні підземних пожеж, а також при використанні газоподібного азоту для інертизації вибухонебезпечного середовища в місці проведення гірничих робіт.

**Постановка задачі.** Задача полягає у необхідності проведення комплексу досліджень, спрямованих на розробку підземних азотних станцій та технології вироблення газоподібного азоту безпосередньо в підземних умовах вугільних шахт, і обґрунтування параметрів процесу інертизації вибухонебезпечного середовища при проведенні гірничих робіт.

**Викладення основного матеріалу.** Для інтенсифікації проведення гірничих робіт в умовах глибоких шахт необхідна розробка нових технологій і технічних засобів, які дозволяють збільшити навантаження на очисний і підготовчий вибій при достатньо високому рівні безпеки. Одна з таких технологій – це виробка газоподібного азоту з повітря безпосередньо в підземних умовах шахт для інертизації вибухонебезпечного середовища, яке створюється при виході з вугільного масиву газу метану [4].

Дослідження науковців ІФГП НАН України довели, що традиційні методи дегазації, засновані на бурінні та вакуумуванні пластових свердловин, не забезпечують досить повного відведення газу метану з вугільних пластів. Це пояснюється тим, що метан міститься в вугіллі у вигляді газу ( густина  $\rho$ ) в порах, каналах і тріщинах, а в дрібних блоках вугільної речовини метан міститься у вигляді твердого розчину (концентрації  $C$ ), і вихід його з вугільного пласта у вибій видобувної ділянки відбувається в момент руйнування масиву вугілля виконавчим органом гірничої машини [2,3]. При цьому в вибій буде виділятися із зруйнованого масиву метан, який може досягати небезпечних концентрацій. Це не дозволяє інтенсифікувати процес вуглевидобутку, обмежує швидкість посування очисного вибою, не дає можливості працювати видобувному комплексу за його максимальною технічною продуктивністю. Тому в процесі ведення видобутку вугілля повинна проводитися інертизація вибухонебезпечного середовища, наприклад, за допомогою газоподібного азоту, який виробляється на підземній азотно-компресорній станції (ПАКС), максимально наближеної до місця споживання азоту.

Як показав досвід застосування на шахтах «Краснолиманська» та ім. О.Ф.Засядько поверхневих азотних станцій для вироблення газоподібного азоту, подання його в шахту для інертизації вибухонебезпечного середовища не є ефективним із-за значних втрат азоту в трубопроводах, тому для застосування газоподібного азоту в технологічних процесах вуглевидобування доцільно використовувати підземні азотно-компресорні станції ПАКС, що максимально наближені до споживачів.

Обґрунтування необхідності створення ПАКС та параметрів процесу інертизації вибухонебезпечного середовища за допомогою газоподібного азоту є важливим завданням для забезпечення безпеки та інтенсифікації ведення гірничих робіт.

В залежності від технології проведення гірничих робіт, інтенсивності газовиділення і умов провітрювання місць проведення гірничих робіт можуть бути застосовані різні варіанти використання за часом стисненого повітря і газоподібного азоту, що подається до вибою від ПАКС.

Так, наприклад, НДІГМ ім. М.М.Федорова спільно із концерном «Укрросметал» розробив спосіб підвищення безпеки та ефективності процесу руйнування гірського масиву комбайном, при якому газоподібний азот подають безпосередньо на виконавчий орган гірничої машини, а потім в обмежений привибійний простір [5].

При реалізації цього способу газоподібний азот від ПАКС подається безпосередньо в обмежений привибійний простір через виконавчий орган гірничої машини. Це дозволяє проводити інертизацію газового середовища при подачі мінімальної кількості азоту в вибій. Отже для вироблення газоподібного азоту може бути застосована мобільна ПАКС порівняно невеликої продуктивності. Продуктивність ПАКС у кожному конкретному випадку має бути обґрунтована.

Процес інертизації полягає в подачі в привибійний простір такої кількості азоту  $m_a(t)$  в одиницю часу, який гарантовано буде забезпечувати безпечну концентрацію метану у вибій  $C_{кр}$ , тобто менше 1%.

Швидкість винесення метано-азотно-повітряної суміші із вибою буде дорівнювати швидкості повітряного потоку, що подається на провітрювання виробки за фактором інтенсивності метановиділення  $m_m(t)$  з пласта.

Безпосередньо в привибійному просторі (рис. 1) через наявність перешкоди руху повітряного струменя у виробленні, що утворений виконавчим органом 2 гірничої машини 3 та тупиковою частиною вибою 4, внаслідок гальмування цього струменя виникає найбільш небезпечна зона, в яку необхідно подати азот для інертизації.

Під час стаціонарного процесу швидкість надходження газу у вибій співпадає із швидкістю винесення газу з вибою. Проте поступає у вибій чистий метан  $m_m(t)$  із зруйнованого вугілля, а виноситься метано-азотно-повітряна суміш. Запишемо диференціальне рівняння, що описує зміну середньої концентрації метану у вибій. При цьому з метою підвищення заходів безпеки приймаємо, що кількість повітря, що подається на провітрювання виробки, розраховано на гарантоване зниження концентрації метану в ній до безпечної величини 1%.

Позначимо через  $m(t) = m_m(t) + m_a(t)$  кількість метану і азоту, а через  $q(t)$  – повітря, що поступає у виробку за одиницю часу. Сума цих величин  $m(t) + q(t)$  є загальною кількістю газу, що поступає у виробку. Згідно з наведеним в [2] аналізом, ця ж кількість газу виходить з виробки за одиницю часу. Вважатимемо, що склад повітря  $m_a(t) = m_m(t) + q(t)$ , що поступає у виробку, однаковий і є постійною величиною.

У разі, коли азот не подається у вибій,  $m_a(t) = 0$ , тоді  $m(t) = m_m(t)$ .

Значимо через  $c(t)$  поточну концентрацію метану. Швидкість зміни цієї величини  $\frac{dc}{dt}$  визначається різницею швидкості надходження метану у виробку  $m_m(t)$  і швидкістю виходу метану з виробки  $(m_m(t) + q(t))c(t)$ , тобто

$$\frac{dc}{dt} = m_m(t) - (m_m(t) + q)c(t). \quad (1)$$

Потужність джерел метану, що поступає у виробку, виглядає таким чином [2]:

$$m_m(t) = \frac{2b_1}{A_1} (\sqrt{t + t_0 + A_1} - \sqrt{t + t_0}) + \frac{2b_2}{A_2} (\sqrt{t + A_2} - \sqrt{t}), \quad (2)$$

де значення безрозмірних параметрів наступні:

$$A_1 = \frac{V_s}{V_k}; \quad A_2 = \frac{V_s}{V_k}; \quad b_1 = \frac{\rho_0}{\rho_a} \sqrt{\frac{\gamma_e D_f}{\pi V_s}}; \quad b_2 = \frac{\rho_0}{\rho_a} \sqrt{\frac{\gamma_e D_f l}{\pi V_s}} \cdot \frac{6K_0 V_n}{l_s V_k},$$

$D_f$  – ефективний коефіцієнт дифузії вугілля  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $l_s$  – довжина виробки, м;  $V_s$  – швидкість звуку в метановому середовищі, м/с;  $K_0$  – коефіцієнт завантаження устаткування;  $V_n$  – швидкість посування вибою, м/доб.;  $\gamma_e$  – ефективна поруватість вугілля,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $V_k$  – швидкість скребкового ланцюга конвеєра, м/хв.

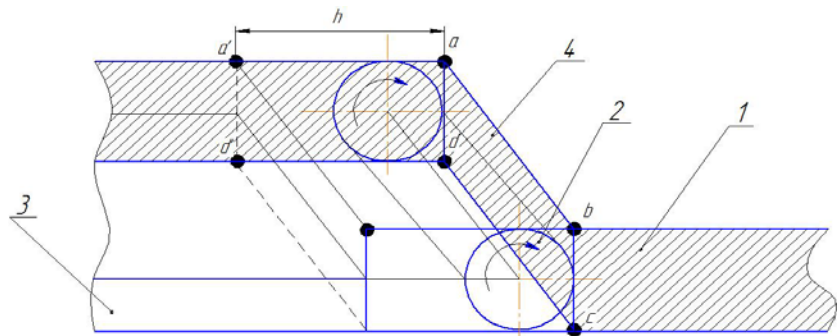


Рис. 1. Схема тупикової частини вибою з виконавчим органом гірничої машини:

- 1 - вугільний пласт; 2 - виконавчий орган гірничої машини;
- 3 - гірничка машина (комбайн); 4 - грудь вибою (тупикова частина вибою перетином abcd)

Приймаємо за початкові умови той факт, що метану в повітрі, який поступає, немає, тобто

$$c(0) = 0. \quad (3)$$

Вважаємо, що  $m_m(t) = m(0) \equiv m_0$ .

Тоді рівняння (1) набуває вигляд  $\frac{dc}{dt} = m_0 - (m_0 + q)c(t)$ .

Рішення цього рівняння, що задовольняє початковій умові ( $c(0)=0$ ), має вигляд

$$c(t) = \frac{m_0}{m_0 + q} \left[ 1 - e^{-(m_0 + q)t} \right]. \quad (4)$$

З цього рівняння одержуємо час  $t_{кр}$  досягнення небезпечної концентрації  $c_{кр}$

$$t_{кр} = -\frac{1}{m_0 + q} \ln \left[ 1 - \frac{c_{кр}(m_0 + q)}{m_0} \right]. \quad (5)$$

Таким чином, коли азот не подається у вибої, час досягнення небезпечної концентрації метану залежить від співвідношення витрати повітря  $q$  для провітрювання і інтенсивності метановиділення  $m_0$ .

Врахуємо і те, що  $t_0$  є малим у порівнянні з  $A_1$ . Тоді рівняння для інтенсивності джерел метану набуває наступного вигляду:

$$m_0 = \left[ \frac{2b_1}{\sqrt{A_1}} + \frac{2b_2}{\sqrt{A_2}} \right] \frac{V_s \cdot 60}{l}. \quad (6)$$

З (4) видно, що максимальна концентрація метану, яка може досягатися у вибої, складає

$$c_{max} = \frac{m_0}{m_0 + q}. \quad (7)$$

Якщо величина  $c_{max}$  нижче критичної концентрації метану, то небезпечна концентрація його ніколи не досягатиметься, і робота механізмів завжди буде проводитися в безпечному режимі.

При наближенні  $c_{max}$  до  $c_{кр}$ , наприклад, за рахунок зменшення швидкості посування вибою час  $t_{кр}$  зростає.

Формула (7) дозволяє при відомій інтенсивності джерел газовиділення  $m_0$  розрахувати таку інтенсивність провітрювання  $q$ , при якій гарантується безпечна робота у вибої. Позначивши через  $q_{кр}$  необхідну для безпеки потужність вентиляції і враховуючи, що при критичному режимі  $c_{кр} = c_{max}$ , отримаємо

$$q_{кр} = \frac{m_0(1 - c_{кр})}{c_{кр}}. \quad (8)$$

Розрахунок значення небезпечної концентрації метану ( $C$ ) у вибої очисної виробки, якщо інтенсивність джерела метановиділення є  $I_0$ , буде визначатися за формулою

$$C = \frac{I_0}{I_0 + q}. \quad (9)$$

В цьому випадку час  $t_{кр}$  досягнення небезпечної концентрації в очисній виробці (1 %) визначається за формулою

$$t_{кр} = -\frac{1}{I_0 + q} \ln \left[ 1 - \frac{C_{кр}(I_0 + q)}{I_0} \right], \quad (10)$$

де  $q$  – інтенсивність провітрювання 1 м<sup>3</sup> об'єму виробки  $\left( q = \frac{Q}{lS} \right)$ , 1/хв;  $Q$  – витрата повітря в очисній виробці, м<sup>3</sup>/хв;  $S_n$  – площа перетину очисної виробки, м<sup>2</sup>;  $l$  – довжина виробки, м.

Визначення інтенсивності джерел метановиділення виконується за формулою [2]

$$I_0 = \left[ \frac{2b_1}{\sqrt{A_1}} + \frac{2b_2}{\sqrt{A_2}} \right] \frac{60V_s}{l_s}, \quad (11)$$

де  $A_1$  – параметр, що характеризує відносну швидкість руху метану в очисному вибої ( $A_1 = 86,4 \cdot 10^3 V_s / V_n$ );  $A_2$  – параметр, що характеризує відносну швидкість руху ланцюга скребкового конвеєра в очисному вибої ( $A_2 = V_s / V_k$ );  $b_1$  – параметр, що характеризує надходження метану із вугільного пласта при його руйнуванні видобувним механізмом,

$$b_1 = g \rho_y \sqrt{\frac{\gamma_e D_f}{\pi V_s}} \frac{l_s}{\sqrt{r_{np} V_k}} \frac{m_n}{S}, \quad (12)$$

де  $m_n$  – потужність пласта, м;  $b_2$  – параметр, що характеризує надходження метану з відбитого вугілля, розміщеного на вибійному та штрековому конвеєрах:

$$b_2 = g_{ocm} \rho_y \sqrt{\frac{\gamma_e D_f (l_s + l_{к.л.})}{\pi V_s}} \frac{6k_0 V_n}{r_{np} V_k \cdot 86,4 \cdot 10^3}, \quad (13)$$

де  $r_{np}$  – наведений розмір фракції зруйнованого вугілля, м;  $l_s, l_{к.л.}$  – довжина конвеєрів на штретці і в очисній виробці, м.

Розглянемо процес інертизації, коли газоподібний азот подається безпосередньо через виконавчий орган видобувної машини. У цьому випадку враховуємо надходження метану тільки на довжині  $l_3 = 2h$  (рис. 1) забойної лінії зі зруйнованого масиву вугілля, який ще не завантажений на конвеєр, тобто у формулі (11) параметри  $A_2=0$  і  $b_2=0$ . У цьому разі інтенсивність метановиділення безпосередньо в очисному вибої буде

$$I_{03} = \frac{2b_1}{\sqrt{A_1}} \frac{60V_s}{l_3}. \quad (14)$$

Значення небезпечної концентрації метану в вибої при подачі азоту в кількості  $q_{акр}$  буде наступним

$$C = \frac{I_{03}}{I_{03} + q_{акр}}. \quad (15)$$

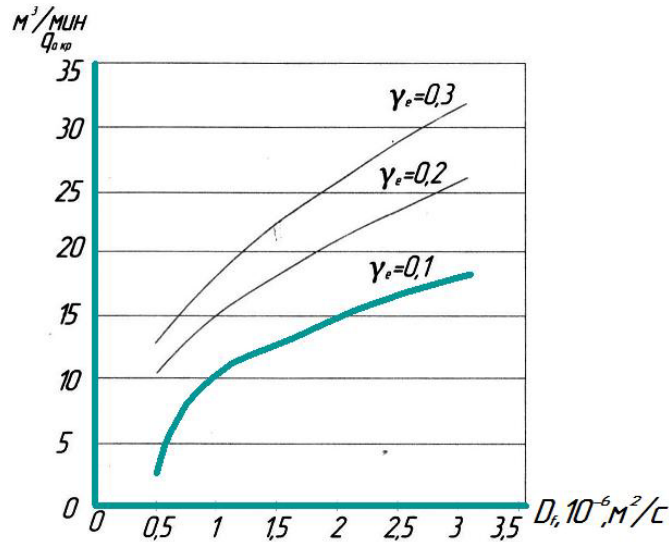


Рис. 2. Залежність подачі азоту  $q_{акр}$  у вибої від ефективного коефіцієнта дифузії вугілля  $D_f$  при  $\gamma_e = \text{var}$

При цьому при подачі азоту час досягнення небезпечної концентрації (1%) метану в вибої буде

$$t_{кр} = - \frac{1}{I_{03} + q_{акр}} \ln \left[ 1 - \frac{C_{кр} (I_{03} + q_{акр})}{I_{03}} \right]. \quad (16)$$

Мінімальна кількість азоту, яку необхідно подавати через виконавчий орган гірничої машини для інертизації вибухонебезпечного середовища в вибої,

$$q_{акр} = \frac{I_{03}(1 - c_{кр})}{c_{кр}} = \frac{2b_1}{\sqrt{A_1}} \frac{60V_s(1 - C_{кр})}{L_3 C_{кр}}. \quad (17)$$

Кількість азоту, яка подається у вибій, залежить від гірничо-технічних та технологічних умов відпрацювання вугільних пластів.

Розрахунки показують (рис. 2), що для різних умов відпрацювання вугільних пластів і середньому коефіцієнті дифузії  $D_f = (0,5 \div 1,5) \text{ м}^2/\text{с}$  в очисний вибій пласта середньої потужності  $1,2 \div 1,5 \text{ м}$  для інертизації необхідно подавати від  $3,5 \text{ м}^3/\text{хв}$  до  $20 \text{ м}^3/\text{хв}$  газоподібного азоту. Зі збільшенням ефективної поруватості вугілля від  $0,1$  до  $0,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$  також зростає і кількість азоту, яку необхідно подавати у вибій для інертизації (рис. 2).

Для вироблення газоподібного азоту в кількості від  $3,5$  до  $5 \text{ м}^3/\text{хв}$  можуть використовуватися у складі ПАКС шахтні мобільні гвинтові компресорні установки продуктивністю  $15 \text{ м}^3/\text{хв}$ , а при великій потребі в газоподібному азоті повинні застосовуватися підземні модульні азотно-компресорні станції ПАКС з кількома гвинтовими компресорами [6].

Дослідження, проведені ІФГП НАН України, показали, що у випадку подання для провітрювання очисної виробки довжиною  $330 \text{ м}$  повітря у кількості  $35 \text{ м}^3/\text{с}$  при потужності пласта  $2,2 \text{ м}$  і швидкості посування вибою  $5,5 \text{ м}/\text{добу}$  вже через  $3$  хвилини буде досягнута неприпустима концентрація метану  $> 1\%$  при  $D_f = (1,8 \div 3,0) \text{ м}^3/\text{с}$ . В цьому випадку необхідно збільшити подачу повітря у виробку на провітрювання, що дуже проблематично, маючи на увазі роботи системи вентиляції шахти на межі її можливостей. Дана проблема може бути вирішена шляхом подання у вибій газоподібного азоту від ПАКС, розташованої поблизу гірничої виробки [6].

За новим способом роботи до споживача від ПАКС прокладають азотопровід і повітропровід відповідно для транспортування азоту і стисненого повітря при роботі в звичайному режимі або транспортують азот по обидвах трубопроводах в аварійному випадку, коли необхідно подати збільшену кількість азоту (рис 3).

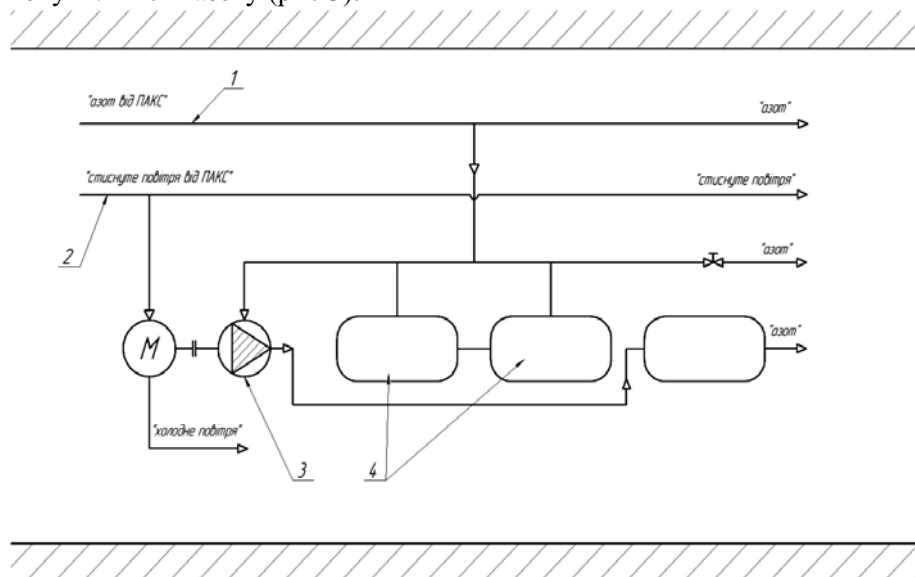


Рис. 3. Схема роботи ПАКС з накопичувальною місткістю і дотискним компресором:  
1 – азотопровід, 2 – повітропровід, 3 – дотискний компресор, 4 – накопичувальна місткість

У безпосередній близькості від споживача азотопровід (1), що йде від ПАКС, підключають до буферної (накопичувальної) місткості (4), що може бути виконана у вигляді металевих баків, з'єднаних між собою, або представляти із себе спеціально обладнану, заглушену гірничу виробку досить великого об'єму, у якій накопичують азот для подальшого використання. Наприклад, при виникненні пожежі у гірничій виробці може знадобитися значна кількість газоподібного азоту для

---

викиду його у вогнище загоряння. У ряді випадків потрібно підвищити тиск газоподібного азоту споживачеві.

Для підвищення тиску азоту у споживача з метою використання при роботі, наприклад, піногенераторної установки азот подають у дотискний компресор 3, наприклад, поршневої або гвинтової продуктивності  $1+5\text{м}^3/\text{хв}$ . Такі компресори випускаються серійно, наприклад, УКВШ-5/7 виробництва «ВНДІ «Компресормаш» (м. Суми).

Привід компресора може здійснюватися, наприклад, від гвинтового або шевронного пневмодвигуна, які також випускаються промисловістю. Відомо, що при роботі пневмодвигуна відбувається процес охолодження відпрацьованого стисненого повітря, те ж саме відбуватиметься і при викиді в шахтну атмосферу газоподібного азоту. Цей ефект охолодження можна використати при створенні комфортних умов у підземних споживачів. До виходу пневмодвигуна приєднують вентиляційну трубу (наприклад, таку ж, як для вентиляторів місцевого провітрювання СВМ4 або СВМ5) і подають по ній холодне повітря до споживача.

Таким чином, при відпрацьовуванні вугільних пластів глибоких шахт для забезпечення безпеки проведення гірничих робіт і збільшення технічної продуктивності гірничих машин необхідно застосування ПАКС, що розташовані в безпосередній близькості від місця споживання азоту для інертизації. При такій схемі розміщення ПАКС забезпечуватиметься найбільш ефективно застосування газоподібного азоту як у технологічній ланці вуглевидобутку, так і у разі виникнення пожежонебезпечних ситуацій у віддалених гірських виробленнях, оскільки значно зменшується час на розгортання протипожежних заходів з використанням інертного газу азоту.

**Висновки.** З метою інтенсифікації видобутку вугілля у глибоких шахтах у більшості випадків необхідно в залежності від умов відпрацювання вугільних пластів передбачити застосування ПАКС та інертизацію азотом виробленого простору або робочої зони виконавчого органу гірничих машин.

Необхідна кількість азоту, яку слід подавати від ПАКС при веденні гірничих робіт в очисний вибій, залежить від фізичних і технологічних параметрів: ефективного коефіцієнту дифузії, поруватості, ширини виконавчого органу комбайна, товщини пласта та ін.

При застосуванні ПАКС у технологічному процесі вуглевидобування ефективність її використання може бути збільшена за рахунок подачі до місця ведення гірничих робіт як інертного газу азоту, так і стисненого повітря.

#### Література

1. Алексеев А.Д. Численное моделирование выхода метана из угля с учетом волны разгрузки и раскрытия пористости при изменении напряжений / А.Д.Алексеев, Г.П.Стариков, А.Э.Филипов // Проблемы горного давления: сб. научн. тр. ДонНТУ. – 2003. – №3. – Донецк, 2003. – 30 с.
2. Алексеев А.Д. Опыт исследования разных форм наличия метана и его объема в угленосной толще / А.Д.Алексеев, В.Г.Гринев, Г.П.Стариков // Добыча и использование газа-метана: привлечение инвестиций: междунар. научн.-практич. конф., 18 сент. 2009 г. – Донецк, 2009.
3. Алексеев А.Д. Связанный метан в природных углях / А.Д.Алексеев, Н.Н.Коврига, З.Г.Пастернак, Г.П.Стариков, Е.В.Ульянова. // Физико-технические проблемы горного производства: сб. научн. тр. ИФГП НАНУ. – 2003. – №6. – Донецк, 2003. – С. 8.
4. Патент №74287 Україна, МПК<sup>7</sup> E21F5/00, A62C3/02. Шахтна азотно-компресорна станція / Грядущий Б.А., Лобода В.В., Коваль А.М., Кірік Г.В., Жарков П.С., Лаврінко О.М.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИГМ им. М.М.Федорова»; №2004032288; заявл. 29.03.2004; опубл. 15.11.2005, Бюл. №11.
5. Патент №34114 Україна, МПК<sup>7</sup> E21F5/00, A62C3/02. Спосіб підвищення безпеки та ефективності процесу руйнування гірничого масиву комбайном і бурильною установкою / Грядущий Б.А., Коваль А.М., Лобода В.В., Кірік Г.В., Жарков П.С., Лаврінко О.М., Лісовий С.Г.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИГМ им. М.М.Федорова»; № 200803521; заявл. 19.03.2008; опубл. 25.07.2008, Бюл. №14.
6. Патент №78041 Україна, Спосіб роботи шахтного підземного азотного компресорного холодильного комплексу / Грядущий Б.А., Коваль А.М., Лобода В.В., Кірік Г.В., Жарков П.С., Лаврінко О.М., Лісовий С.Г.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИГМ им. М.М.Федорова»; № 20041109401; заявл. 16.11.2004; опубл. 15.02.2007, Бюл.№ 2.

*Стаття рекомендована к публикации  
канд. техн. наук Стещенко В.А.*