



В. В. ЛОБОДА,
канд. техн. наук
(НДІГМ ім. М. М. Федорова)

УДК 621.512.514

Підвищення енергоефективності пневмоенергетичного комплексу шахт крутого падіння

Розглянуто деякі питання вдосконалення та підвищення енергоефективності пневмоенергетичного комплексу шахт крутого падіння. Проаналізовано ефективність застосування нової технології вироблення пневмоенергії та газоподібного азоту в шахтах крутого падіння за допомогою мобільних установок та модульних азотно-компресорних станцій ПАКС.

Підвищення енергоефективності пневмоенергетичного комплексу (ПЕК) шахт крутого падіння – невідкладне завдання сьогодення. Невиробничі втрати електроенергії на вироблення і транспортування стиснутого повітря від поверхневих енергоємних та зношених стаціонарних компресорних станцій (КС) до віддалених підземних пневмоспоживачів шахт крутого падіння досягають 60 – 70 %. Заходи щодо оновлення парку стаціонарних компресорів не сприяють істотному зниженню втрат. Тому необхідний пошук нових шляхів вирішення цієї проблеми.

Дослідження щодо підвищення ефективності роботи ПЕК шахт розпочалися ще минулого століття [1, 2], коли з'явилася тенденція зниження тиску стиснутого повітря у віддалених підземних пневмоспоживачів шахт крутого падіння, що призводило до зниження технічної продуктив-

ності гірничих машин, а в ряді випадків – до неможливості їх застосування.

Більшість досліджень та публікацій були спрямовані на вдосконалення режимів та способів регулювання шахтних стаціонарних поршневих і турбокомпресорів [3]. Це не вирішило проблему підвищення енергоефективності ПЕК шахт крутого падіння, оскільки ККД пневмомереж через втрати в них не перевищує 4 – 6 %.

На основі багаторічних досліджень ПЕК шахт крутого падіння Центрального району Донбасу, а також глибоких шахт інших районів у НДІГМ ім. М. М. Федорова дійшли висновку до потреби кардинальної зміни підходу щодо вирішення цієї проблеми внаслідок вироблення пневмоенергії не на поверхневих КС, а в підземних умовах. Це глобальне завдання НДІГМ ім. М. М. Федорова вирішував спільно з НВАТ «ВНДІ-компресормаш», МакНДІ, Дондіпрошахт, НДІГС «Респіратор».

Аналіз традиційної технології вироблення пневмоенергії та газоподібного азоту за допомогою поверхневих КС показав потребу і актуальність розроблення альтернативних напрямів, які суттєво підвищать ефективність застосування пневмоенергії й газоподібного азоту в шахті. Один з таких напрямів – вироблення пневмоенергії та газоподібного азоту високої якості безпосеред-

ньо в підземних умовах з мінімальними втратами на їх транспортування до підземних споживачів. Розпочаті НДІГМ ім. М. М. Федорова ще в 90-ті роки дослідження [1, 2] цього напрямку тільки тепер отримали достатню підтримку і подальший розвиток.

Нова технологія вироблення пневмоенергії і газоподібного азоту в підземних умовах [4, 5, 6], як показали дослідження вчених НДІГМ, може бути реалізована під час виконання таких завдань:

- розроблення технологічних схем:

вироблення пневмоенергії та газоподібного азоту з використанням одиничних мобільних агрегатів і підземних модульних компресорних станцій (ПМКС) при мінімальному тепловому впливі під час їх роботи на свіжий струмінь повітря, що надходить на видобувні й прохідницькі дільниці;

ефективного застосування газоподібного азоту під час провадження гірничих робіт і попередження та локалізації підземних пожеж;

- створення:

безпечних мобільних джерел пневмоенергії на основі сучасних ефективних і максимально врівноважених конструкцій гвинтових компресорів;

ПМКС підвищеної продуктивності для живлення групи підзем-

них споживачів і часткової або повної заміни поверхневих КС;

підземних азотно-компресорних станцій (ПАКС) для одночасного вироблення пневмоенергії та газоподібного азоту;

- поширення зони використання шахтних мобільних компресорних установок у системах дегазації шахт;
- максимальне скорочення довжини повітропроводів від джерела вироблення пневмоенергії та газоподібного азоту до підземних споживачів.

Під час підземного вироблення пневмоенергії мобільні компресорні установки розміщуються в гірничих виробках. Стиснуте повітря від них до одного або декількох близько розташованих вибоїв подається повітропроводами, що мають порівняно невелику протяжність. Компресори необхідної подачі включаються тільки тоді, коли є реальна потреба в стиснутому повітрі й не працюють в інший час. При цьому різко знижуються витрати шахти на придбання, монтаж і експлуатацію повітропровідної мережі, істотно зростає тиск стиснутого повітря у споживачів, отже, їх технічна продуктивність, скорочується споживання електроенергії компресорами, тобто суттєво підвищується енегоефективність ПЕК шахти.

Можливе застосування пересувних компресорних установок (КУ) для обслуговування однієї дільниці (індивідуальна компресорна станція) видобутку або групи близько розташованих дільниць, які обслуговуються. У першому випадку компресорні установки розміщують поблизу вибоїв дільниць, що обслуговуються, в другому – в місці, приблизно рівновіддаленому від них.

Особливе місце приділяється застосуванню пересувних компресорних установок на глибоких шахтах з крутим заляганням пластів. Здебільшого ці шахти небезпечні щодо раптових викидів вугілля і пилу, відрізняються від шахт пологого падіння тим, що механізація майже всіх виробничих процесів виконується з використанням енергії стиснутого повітря. Склад уживаного пневматичного устаткування в очисних вибоях і прилеглих до них відкочувальних і вентиляційних штреках залежить від виду вибою (очисний або прохідницький), горизонту, на якому розташовано устаткування (відкочувальний або вентиляційний), і технології проведення гірських виробок, зокрема, від того, прямим чи зворотним ходом йде відроблення пласта.

Устаткування на дільницях працює в повторно-короткочасному режимі з різною тривалістю вклю-

чення, при цьому витрата стиснутого повітря коливається від нульового до максимального. Винятком є вентилятори місцевого провітрювання, що працюють безперервно.

НДІГМ ім. М. М. Федорова провів попередню оцінку типорозмірів пересувних компресорів для установлення їх на горизонті однієї видобувної дільниці з урахуванням того, що при розташуванні компресорів поблизу споживачів повітропроводна мережа між компресорами і споживачами значно коротша, а її діаметр суттєво менший, ніж при централізованому повітропостачанні.

Усереднені дані про витрати стиснутого повітря на вентиляційному та відкочувальному штреках дільниць видобутку для забезпечення роботи устаткування наведено в таблиці. Враховано, що в очисні, молоткові й щитові вибої стиснуте повітря може подаватися як з відкочувального, так і з вентиляційного горизонтів, а в комбайновий очисний вибій – тільки з вентиляційного горизонту. Витоки з повітропроводу не враховувалися.

При прямому ході очисного вибою витрата стиснутого повітря на вентиляційному горизонті становить 66 – 160 м³/хв, на відкочувальному – 66 – 83 м³/хв. Такі витрати бувають протягом коротких проміжків часу, наприклад, коли здійснюється підзарядка гірвоза і в роботу включаються одночасно дві лебідки. Для забезпечення такої витрати потрібні компресори сумарною потужністю 400 – 600 кВт. Застосування на одній дільниці електричного устаткування такої потужності проблематичне як з технічних, так і з економічних причин. Отже, при прямому ході очисного вибою та наборі пневматичного устаткування слід виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування окремих пересувних компресорних установок.

Очисний вибій	Витрати стиснутого повітря, м ³ /хв, під час подачі в лаву з горизонту			
	вентиляційного		відкочувального	
	Прямий хід	Зворотний хід	Прямий хід	Зворотний хід
<i>Вентиляційний горизонт</i>				
Молотковий	120	88	73	16
Комбайновий	162	131	–	–
Щитовий (електричний)	104	73	66	16
<i>Відкочувальний горизонт</i>				
Молотковий	66	16	83	33
Комбайновий	66	16	–	–
Щитовий (електричний)	66	16	83	18

При зворотному ході очисного вибою і подачі стиснутого повітря в лаву з відкочувального горизонту витрата стиснутого повітря на вентиляційному горизонті становить $16 \text{ м}^3/\text{хв}$, на відкочувальному – $33 \text{ м}^3/\text{хв}$. Для забезпечення таких витрат потрібні компресори з електроприводом сумарною потужністю 100 кВт на вентиляційному горизонті і 200 кВт – на відкочувальному. В цьому випадку треба виконати розрахунок теплового режиму у виробках, в яких застосовуватимуться пересувні компресорні установки.

Застосування пересувних і напівстаціонарних компресорів на видобувних і підготовчих дільницях істотно обмежене вимогами безпеки (заборона застосування на вентиляційних горизонтах) і складністю експлуатації у віддалених від ствола гірничих виробках електричного устаткування зосередженою потужністю 200 кВт і вище. Тому треба було розробити спеціальні технології вироблення пневмоенергії в підземних умовах глибоких шахт.

Останні дослідження роботи пневмоенергетичних комплексів вугільних шахт України показали, що традиційно застосовувані на шахтах схеми повітропостачання підземних пневмоспоживачів від поверхневих центральних компресорних станцій через значні витоки стиснутого повітря (до $50 - 70 \%$) у досить протяжних і зношених повітропроводах мають низьку ефективність. Тиск у підземних пневмоспоживачів не перевищує $304 - 405 \text{ кПа}$, що суттєво знижує технічну продуктивність пневмомеханізмів. Такий стан речей потребує розроблення нових рішень у питаннях вироблення пневмоенергії та її спрямування до пневмоспоживачів.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є застосування шахтних пересувних компресорних установок і підземних модульних компресорних станцій, що складаються з декількох КУ, максимально наближених до підземних споживачів пневмоенергії. При цьому усуваються недоліки, характерні для схеми повітропостачання від центральної поверхневої КС, підвищується якість пневмоенергії, зростає продуктивність вибійного устаткування тощо.

Схеми повітропостачання шахтних споживачів умовно можна поділити на чотири основні групи:

- від центральної поверхневої КС;
- комбінована, коли частина пневмоспоживачів живиться від поверхневої КС, а частина – від підземної модульної ПМКС або окремих КУ, які розташовують у штреках;

- від модульної ПМКС із декількома КУ, розташованими у відокремленій гірничій виробці;
- від дільничних КУ, які розташовані на штреках.

При виборі раціональної схеми повітропостачання мають бути проаналізовані всі можливі варіанти. Оптимальною є схема з мінімальними річними витратами, що забезпечує найефективніше функціонування підземних пневмоспоживачів.

Перед виконанням порівняльних економічних розрахунків слід перевірити ступінь підігрівання вентиляційного струменя теплою, яку відводять від працюючих компресорів в обраному місці їхнього розміщення у виробці. Ця теплота не повинна потрапляти на свіжий струмінь повітря, що йде до видобувних і прохідницьких дільниць, або вона має мінімально впливати на її підігрівання, оскільки тепловий режим у гірничих виробках глибоких шахт вже зараз досить напружений.

У багатьох виробках середньорічна температура повітря на свіжому струмені становить близько $20 - 23 \text{ }^\circ\text{C}$, тобто можливий допустимий резерв щодо підвищення температури всього $3 - 6 \text{ }^\circ\text{C}$ у зв'язку з максимально допустимою температурою у виробці $26 \text{ }^\circ\text{C}$, що відповідає вимогам Правил безпеки у вугільних шахтах. Тому створювані мобільні джерела вироблення пневмоенергії під час використання їх у виробках мають бути строго обмежені щодо тепловідлення (потужності приводу), а отже і подачі.

Розрахунки показують, що здебільшого подача одиничних мобільних компресорних агрегатів, що застосовуються у виробках, може становити $5 - 15 \text{ м}^3/\text{хв}$, а при більшій потребі у стиснутому повітрі доцільно застосовувати групі ПМКС, що працюють за спеціальною технологією без теплового впливу на свіжий струмінь повітря, що йде до дільниць.

У кожному конкретному випадку застосування мобільної компресорної установки, максимально наближеної до підземних споживачів, слід перевіряти тепловий режим під час її роботи установки.

Допустимість нагрівання вентиляційного струменя перевіряється порівнянням очікуваної температури вентиляційного струменя після компресора з температурою, допустимою «Правилами безпеки у вугільних шахтах. НПАОП 10.0-1.01-10». Тепло, що виділяється, складається з таких частин:

- під час роботи електродвигуна компресора внаслідок різних втрат енергії в ньому, в тому числі на перемішування повітря вентилятором (Q_1);

• у компресорі внаслідок тертя деталей у підшипниках, редукторі та сальниках (Q_2);

• при стисненні повітря в компресорі (Q_3); до цієї теплоти входять втрати на дроселювання і перемішування повітря під час протікання через компресор.

Теплота Q_1 и Q_2 цілком передається навколишньому середовищу, теплота Q_3 частково передається навколишньому середовищу в місці розташування компресора, частково – повітрям у трубопроводі.

Загальна кількість виробленої теплоти

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Частина цієї теплоти, що виноситься зі стиснутим повітрям у повітропроводі,

$$Q_{\text{пов}} = C_p (T_2 - T_1) V_i \gamma_0,$$

де C_p – питома теплоємність повітря при постійному тиску, кДж/(кг·град);

T_1 – температура повітря, що всмоктується в компресор, °С;

T_2 – температура стиснутого повітря, що надходить до повітропроводу після повітрозбірника компресора (її значення близько 90 °С);

V_i – подача стиснутого повітря компресором, м³/хв;

γ_0 – питома вага повітря за умов всмоктування, Н/м³.

Теплота в кількості $Q_k = Q - Q_{\text{пов}}$ виділяється в місці розташування компресорної установки.

Температура Δt , на яку очікується підігрівання вентиляційного струменя в місці розташування компресора, визначається з виразу

$$\Delta t = Q_k / (C_p 60 V_{\text{в.с}} \gamma_0),$$

де $V_{\text{в.с}}$ – витрата повітря у вентиляційному струмені, м³/хв.

Очікувана температура вентиляційного струменя в гірничій виробці

$$t'_{\text{в.с}} = t_{\text{в.с}} + \Delta t,$$

де $t_{\text{в.с}}$ – температура вентиляційного струменя в літній час за відсутності компресора, °С (за даними шахт).

Наприклад, кількість теплоти, що виділяється пересувною компресорною установкою (подача 7,5 м³/хв), розташованою в гірничій виробці прохідницької дільниці площею перерізу 7,2 м² при середній витраті повітря 200 м³/хв, температурі 20 °С, становить близько 58356 кДж, при цьому вентиляційне повітря додатково підігріється на 4 °С. Отже, загальна температура повітря у виробці біля КУ становитиме 24 °С.

У цьому разі температура вентиляційного струменя в місці розташування компресорної установки

не перевищує 26 °С – допустиме значення (ПБ НПА-ОП 10.0-1.01-10).

Розрахункові дослідження, виконані для найхарактерніших площ перерізів S гірничих виробок, показали таке. У виробках площею перерізу $S = 6 \dots 7,5$ м² при зміні середньої швидкості повітряного струменя від 0,5 до 1 м/с і більше можна застосовувати пересувні компресорні установки подачею 5 – 15 м³/хв. Однак КУ подачею 15 м³/хв можна використовувати тільки за відсутності додаткових джерел нагрівання повітряного струменя. Це пов'язано з обмеженням, яке зазначено в ПБ щодо максимально допустимої температури повітря в виробках, тобто 26 °С.

Якщо для живлення споживачів дільниці потрібно більш як 15 м³/хв стиснутого повітря, тоді температурний режим у гірничій виробці істотно зміниться в бік неприпустимого зростання температури повітряного струменя і в цьому разі повітря має подаватися до пневмоспоживачів дільниці від ПМКС, яку слід розташовувати у виробці з відокремленим провітрюванням [4].

НДІГМ ім. М. М. Федорова спільно з АТ «НВАТ ВДНІкомпресормаш», Дондіпрошахт, МакНДІ та НДІГС «Респіратор» розробляють підземну модульну компресорну станцію підвищеної подачі, яку найближчим часом планується застосувати на шахтах крутого падіння, тобто частково або цілковито замінити зношений парк дуже енергоємних стаціонарних поршневих та турбокомпресорів. Так, у ТОВ «Краснодонвугілля» на всіх шахтах поверхневі стаціонарні КС замінено підземними компресорними установками, при цьому витрати на вироблення пневмоенергії знизилися на 30 – 50 %.

На базі ПМКС будуть створені підземні модульні азотно-компресорні станції (ПАКС), які вироблятимуть одночасно стиснуте повітря і газоподібний азот. Пропонується застосування газоподібного азоту не тільки для локалізації та гасіння підземних пожеж, а й насамперед для інертизації вибухонебезпечного середовища безпосередньо під час вуглевидобування.

НДІГМ ім. М. М. Федорова спільно з АТ «НВАТ ВДНІ компресормаш» розроблено спосіб підвищення безпеки ведення гірничих робіт очисним та прохідницьким комбайнами внаслідок подачі газоподібного азоту безпосередньо у вибій [6]. Це істотно підвищить технічну продуктивність вуглевидобувної техніки.

Згідно з новою технологією від ПАКС до споживача прокладають азотопровід і повітропровод. Під

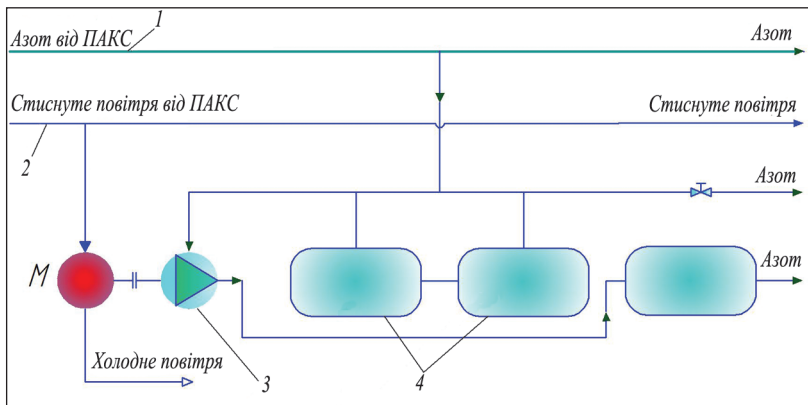


Рис. 1. Схема підведення газоподібного азоту і стиснутого повітря від ПАКС до підземних споживачів: 1 – трубопровід з газоподібним азотом; 2 – трубопровід зі стиснутим повітрям; 3 – дотискний компресор; 4 – накопичувальна місткість.

час виникнення пожежі, коли потрібна збільшена кількість азоту, його подають по обох трубопроводах. На рис. 1 показано схему підведення газоподібного азоту і стиснутого повітря від ПАКС до підземних споживачів.

У безпосередній близькості від споживача азотопровід 1, що йде від ПАКС, підключають до буферної (накопичувальної) місткості 4, що може бути у вигляді металевих баків, з'єднаних між собою, або становить собою спеціально обладнану, заглушену гірничу виробку досить великого об'єму, у якій накопичують азот для подальшого використання.

Для підвищення тиску азоту у споживача з метою використання під час роботи, наприклад, піногенераторної установки, азот подають у дотискний компресор 3 (поршневий або гвинтовий) подачею 1 – 5 м³/хв. Такі компресори випускають серійно, наприклад

УКГШ-7,5/7 У5Т виробництва ВНДІ-компресормаш (м. Суми).

Пожежовибухобезпечна компресорна установка УКГШ-7,5/7 У5Т (рис. 2) розроблена ВНДІкомпресормаш і НДІГМ ім. М. М. Федорова спеціально для

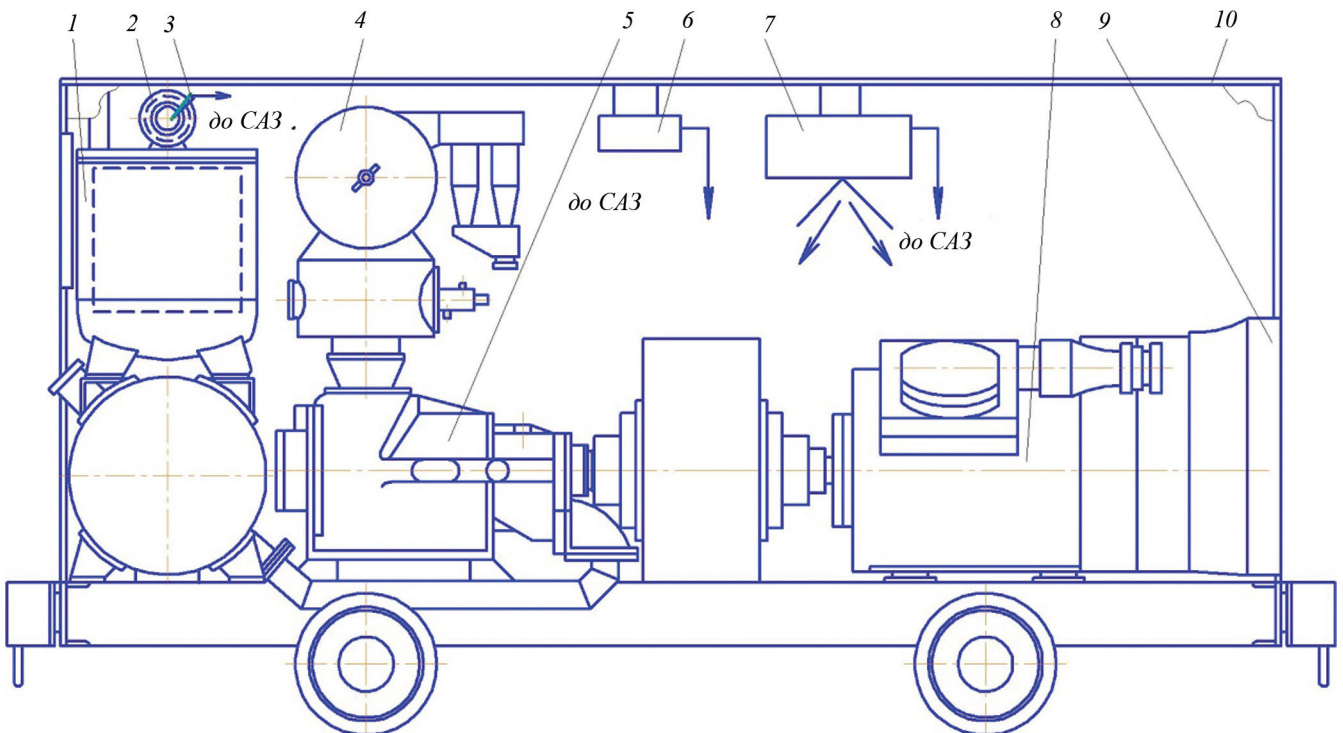


Рис. 2. Схема компресорної установки, призначеної для застосування в тупикових виробках шахт: 1 – повітрярозбірник; 2 – роздавальна труба; 3 – датчик системи контролю вуглекислого газу; 4 – повітряний фільтр; 5 – гвинтовий компресор; 6 – датчик системи контролю метану; 7 – автономна автоматична система пожежогасіння – система автоматичного захисту (САЗ); 8 – електропривід; 9 – охолоджувач; 10 – кришка.

застосування в тупикових виробках шахт [7]. Після незначного доопрацювання такої установки можна використовувати для роботи за наведеною на рис. 1 схемою. Привід компресора можна здійснювати, наприклад, від гвинтового або шевронного пневмодвигуна, які також випускає промисловість. Якщо привід пневматичний, можна додатково отримати охоложене повітря. Для цього до виходу пневмодвигуна приєднують вентиляційну трубу (таку саму, як для вентиляторів місцевого провітрювання СВМ4 або СВМ5 чи іншу) і по ній холодне повітря подають до споживача.

Отже, підземні повітряноазотно-енергетичні системи гарантують не тільки безпечні умови під час виконання робіт у прохідницьких і видобувних вибоях, а й створюють ефект охолодження навколишнього середовища. Наявність підземних джерел вироблення пневмоенергії дає змогу також при використанні сучасних мембранних технологій створити на їх базі взаємопов'язану систему з вироблення газоподібного азоту, подача якого у привибійний простір для інертизації пожежовибухонебезпечного середовища істотно підвищить безпеку провадження гірничих робіт і відкриє можливість реалізації повної технічної продуктивності високопродуктивних очисних комплексів. Одночасне вироблення на підземних станціях, які повинні бути максимально наближені до підземних споживачів, стиснутого повітря і газоподібного азоту високої якості істотно підвищить ефективність пневмоенергетичного комплексу шахт.

Висновки. Необхідно розробити і впровадити підземні мобільні взаємопов'язані системи вироблення пневмоенергії і газоподібного азоту, максимально наближені до підземних споживачів.

Застосування ПМКС підвищеної продуктивності у сукупності з мобільними КУ істотно підвищить енергоефективність ПЕК шахт крутого падіння і дасть змогу частково або цілком замінити зношений парк дуже енергоємних стаціонарних поршне-вих та турбокомпресорів.

Одночасне вироблення пневмоенергії та газоподібного азоту на підземних азотнокомпресорних

станціях ПАКС дає змогу не тільки гарантувати безпеку робіт, а й підвищити технічну продуктивність гірничої техніки.

Л І Т Е Р А Т У Р А

1. *Бирюков В. М.* Об экономии энергоресурсов при использовании пневмоэнергии на угольных шахтах / В. М. Бирюков, В. В. Лобода // Промышленная энергетика. – 1987. – № 5. – С. 2 – 4.
2. *Лобода В. В.* Опыт эксплуатации и перспективы применения винтовых компрессорных станций на шахтах / В. В. Лобода, О. И. Алдыканов, А. Н. Худяков // Горная механика: сб. науч. тр. НИИГМ им. М. М. Федорова. – 1991. – Вып. 1 – С. 181– 188.
3. *Десярев В. И.* Повышение эффективности пневматических установок горных предприятий. – М.: Недра, 1993. – 243 с.
4. *Пат.* № 46051 Україна, МПК⁷ F04C23/00, E21F17/00. Спосіб роботи шахтної підземної компресорної станції / В. В. Лобода, Г. Г. Махов, А. М. Коваль, В. Й. Мялковський, А. Г. Машиніченко, О. М. Ященко, В. М. Свицький, Ю. О. Матвєєв; заявник і патентовласник НДІГМ ім. М. М. Федорова. – № 98031288; заявл. 13.03.98; опубл. 15.05.02, Бюл. № 5.
5. *Пат.* № 81127 МПК⁷ B08 B9/032, F04 C28/00. Підземна компресорна станція / В. В. Лобода, М. Ю. Лумей, А. В. Колесник; заявник і патентовласник НДІГМ ім. М. М. Федорова. – № a200503256; заявл. 08.04.05; опубл. 10.12.07, Бюл. № 20.
6. *Пат.* № 61850 Україна, МПК⁷ E21F5/00, A62C3/00, 3/02. Спосіб вироблення газоподібного азоту з атмосферного повітря за допомогою азотно-компресорної установки / Б. А. Грядущий, П. С. Пашковський, В. В. Лобода, С. Г. Філімонов, А. М. Коваль, П. Є. Жарков, О. М. Лавренко; заявник і патентовласник НДІГМ ім. М. М. Федорова. – № 2003087401; заявл. 05.08.03; опубл. 15.09.05, Бюл. № 9.
7. *Пат.* № 40222 Україна, МПК 7 F04C29/02, F04C18/16. Шахтна гвинтова компресорна установка підвищеної пожежобезпеки / Б. А. Грядущий, А. М. Коваль, В. В. Лобода, Г. В. Кірік, П. Є. Жарков, В. О. Білозеров, П. С. Пашковський, П. А. Новиков; заявник і патентовласник НДІГМ ім. М. М. Федорова. – № 200813363; заявл. 19.11.08; опубл. 25.03.09, Бюл. № 6.