УДК 621:514.5:661.938

В.В. Лобода, к.т.н., академік Міжнародної академії наук екології та безпеки МАНЭБ, А.В. Соловьев, Н.В. Манец, Д.А. Зайцев, інженери (НИИГМ им. М.М.Федорова) м. Донецьк, Україна

Дослідження і розробка спеціальних функціонально пов'язаних систем для підвищення ефективності роботи підземної модульної компресорної станції (ПМКС)

Наведено результати досліджень умов експлуатації підземних компресорних станцій по тепловому режиму у гірничих виробках шахт. Визначено показники і межі теплового впливу роботи модулів ПМКС на навколишнє середовище. Наведені результати розрахункових досліджень тепловиділень на ПМКС. Обґрунтовано необхідність розробки спеціальних функціонально пов'язаних систем для забезпечення ефективної та безпечної роботи ПМКС.

Ключові слова: *шахта, дослідження, підземна компресорна станція, ефективність, гірнича виробка, спеціальні системи.*

Приведены результаты исследований условий эксплуатации подземных компрессорных станций по тепловому режиму в горных выработках шахт. Определены показатели и пределы теплового влияния работы модулей ПМКС на окружающую среду. Приведены результаты расчетных исследований тепловыделений на ПМКС. Обоснована необходимость разработки специальных функционально связанных систем для обеспечения эффективной и безопасной работы ПМКС.

Ключевые слова*: шахта, исследование, подземная компрессорная станция, эффективность, горная выработка, специальные системы.*

Results over of researches of external of the underground compressor stations environments are brought on the thermal mode in the mountain making of mines. Indexes and limits of thermal influence of work of the modules of ПМКС are certain on an environment. Results over of calculation researches of selection of warmth are brought on ПМКС. The necessity of development of the special functionally constrained systems is reasonable for providing of effective and safe work of ПМКС.

Keywords*: mine, research, underground compressor station, efficiency, mining, specific systems.*

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями

В даний час доведено, що застосування потужних поверхневих компресорних станцій (КС) зі стаціонарними поршневими і турбокомпресорами для вироблення і подачі пневмоенергії до підземних споживачів по довгим і розгалуженим пневмомережам досить не ефективно. ККД пневмосистем шахт в цьому випадку не перевищує 6% через великі (до 60-70%) втрати стислого повітря і опорів в пнемомережі при каналізації пневмоенергії.

Дана проблема може бути вирішена шляхом створення та застосування шахтних компресорних установок (ШКУ) і підземних модульних компресорних станцій (ПМКС), підвищеної продуктивності, які максимально наближені до підземних споживачів. Застосування ПМКС і КУ дозволить частково, а в ряді випадків і повністю, замінити поверхневі КС.

Попередні дослідження і досвід експлуатації експериментальної компресорної станцій ПКС-1 на шахті ім. В.В. Вахрушева та шахтних компресорних установок ЗИФ-ШГ-5М и УКГШ-15/7 на ряду шахт [1,2] показав ,що при простому зосередженні ШКУ в гірничій виробці для утворення підземної компресорної станції підвищеної продуктивності відбувається суттєве погіршення теплового режиму роботи кожної з послідовно розташованих КУ (модулів), а також порушується екологія у самій гірничій виробці через викид стисненого повітря в шахтну атмосферу при зупинках і регулюванні модулів, зростає перенесення масла зі стисненим повітрям в пнемомережу.

Це пов'язано з тим, що при роботі кожної компресорної установки до 60% тепла виділяється в омиваючий струмінь вентиляційного повітря у гірничого виробленні, а це підігріте повітря поступає на стискування в компресорі і охолодження наступних компресорних установок, що істотно погіршує умови і показники їх роботи. Крім того, при зупинках КУ здійснюється виділення стисненого повітря в шахтну атмосферу через повітряний фільтр кожної установки, що забруднює повітря в гірничій виробці з ПМКС парами масла. Тобто, необхідно приймати спеціальні заходи щоб уникнути цей негативний вплив на роботу компресорів в складі ПМКС і на екологію в гірничій виробці.

Аналіз досліджень і публікацій

В роботі [1] встановлено, що підігрів всмоктуваного шахтним гвинтовим компресором повітря веде до втрати масової продуктивності компресора і погіршення його теплового режиму, крім того зростає перенесення аерозолів масла в пневмомережу. Тому необхідно усунути цей вплив всмоктуваного повітря при його роботі в гірничій виробці, особливо при використанні в складі ПМКС.

Нормалізація теплового режиму роботи ПМКС має досить важ-

ливе значення при розміщенні станції в гірничій виробці з обмеженим перерізом [2].

Актуальність цього питання підтверджує аналіз багаторічного досвіду експлуатації експериментальної модульної підземної компресорної станції ПКС-1 на шахті ім. В.В. Вахрушева ВО "Ровенькиантрацит" який показав, що розміщення в гірничій виробці послідовно декількох компресорних установок (модулів) призводить до значного (на 5÷10°С) підігріву вентиляційного струменя у виробці при їх роботі [3]. При цьому на вході повітря до кожного наступного за ходом вентиляційного струменя модуля надходить все більше нагріте повітря, що призводить до втрати його масової продуктивності.

Постановка задачі

Зниження продуктивності кожного з модулів ПМКС, а також збільшення теплових навантажень на гвинтові компресори через нагрівання вентиляційного повітря від кожного послідовно розташованого модуля погіршує їх експлуатаційні показники, в т.ч. знижується ресурс роботи вузлів ШКУ та зростає віднесення масла в пневмомережу зі стисненим повітрям. Для нормалізації теплового режиму роботи послідовно розташованих модулів в ПМКС необхідно обґрунтувати застосування спеціальної системи подачі повітря, що дозволяє усунути зазначені недоліки. Це і є завданням даної роботи.

Виклад основного матеріалу й результати досліджень

Створення підземної модульної компресорної станції ПМКС є досить актуальною задачею для вугільної промисловості. Спроби створення таких станцій простої компоновки з існуючих серійного випуску компресорних установок приводить до порушення теплового режиму роботи кожного модуля і станції в цілому, що істотно знижує їх експлуатаційні показники.

При послідовному розташуванні компресорних установок (модулів) у складі ПМКС відстань між ними не перевищує 1 м, а це призводить до того, що нагрітий тепловий потік від кожного попереднього модуля надходить на охолодження подальшого модуля по ходу вентиляційного струменя у гірничій виробці.

Схематичний рух теплових потоків від модулів (компресорних установок) ПМКС наведено на рис 1.

Як видно з рис. 1, на всмоктування першого компресора надходить свіжий потік повітря з температурою $T_{вх}=T_в$ (температура повітря на вході в гірничу виробку), на другий компресор поступає повітря нагріте до температури $T_{вх2}$, через нагрівання потоку повітря від першого компресора, і так далі по ходу руху потоку повітря.

Прийнято, що в гірничій виробці через достатню швидкість вентиляційного потоку відбувається поділ теплових потоків на підігрітий потік, що протікає біля компресорів і зовнішній потік, що прилягає до стінок гірничої виробки. Враховуючи, що відстань між компресорними установками (модулями) ПМКС досить мала і не перевищує 1 метр, то зроблено припущення, що тепло яке виділилося в потік повітря від кожного попереднього компресора потрапляє на всмоктування наступного.

В це тепло входять втрати на дроселювання і перемішування повітря при протіканні через компресор. При розрахунку цієї кількості тепла необхідно врахувати зміну температури всмоктуваного повітря, внаслідок підігріву свіжого струменя після відбору тепла вентиляційним струменем від кожного попереднього компресора.

Тепло Q_1 і Q_2 повністю передається навколишньому середовищу, тепло Q_3 частково передається навколишньому середовищу в місці розташування компресора, частково переміщується повітрям в трубопровід.

Кількісне значення всього тепла яке виділяється при роботі кожного модуля буде:

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = N_д(1-\eta_д) + N_д \cdot \eta_д(1-\eta_{мех}) + \frac{1}{m-1} \cdot P_1 V_1 \left(\frac{P2}{P1}\right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \text{, кВт} \qquad (1)$$

де $N_д$ – електрична потужність, що підводиться до електродвигуна, кВт; $\eta_д$ – ККД електродвигуна; $\eta_{мех}$ – механічний ККД компресора; P_1 – абсолютний тиск всмоктуваного повітря, Н/м²; V_1– продуктивність компресора, м³/с; P_2 – абсолютний тиск повітря, що нагнітається, Н/ м²; m – показник політропи стисненого повітря.

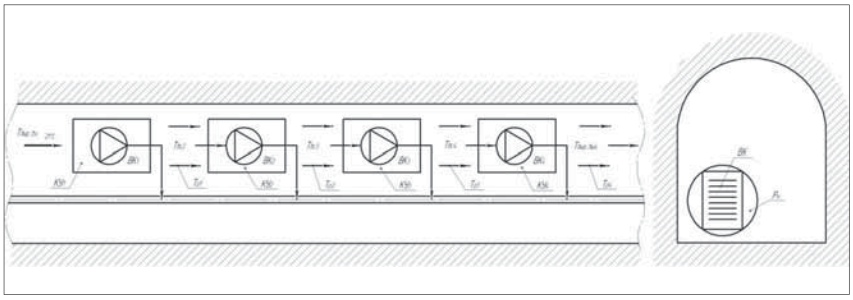

Рис. 1. Схема руху теплових потоків від модулів ПМКС і вентиляційного повітря в гірничій виробці *(КУі – компресорні установки (модулі) в складі ПМКС; ВКі – гвинтові компресори в складі модулів; Ті – температури потоків)*

Тепло, яке виділяється при роботі кожної компресорної установки складається з наступних частин:

а) тепла, що виділяється при роботі електродвигуна внаслідок різного роду втрат енергії в ньому, в тому числі на перемішування повітря вентилятором (Q_1);

б) тепла, що виділяється в компресорі внаслідок тертя деталей в підшипниках, редукторі і сальниках (Q_2);

в) тепла, що виділяється при стискуванні повітря в компресорі (Q_3).

Як приклад розглянуто тепловий режим роботи ПМКС продуктивністю 60 м³/хв., що скомпонована з установок (модулів) УКГШ 15/7 у виробленому перетені S=13м² та температурою вхідного в виробок повітря $T_{вх}$= 21°С.

Для розрахунку були взяті технічні характеристики установки УКГШ 15/7 (V_1=15 м³/хв; $N_д$=90кВт; P_1=0,11 МПа; P_2=0,7 МПа; $\eta_{мех}$=0,92; $\eta_д$=0,92; T_2=80°С).

Підставивши значення, отримаємо:

$$Q_1 = 90 \cdot (1 - 0{,}92) = 7{,}2 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 90 \cdot 0{,}92\ (1 - 0{,}96) = 3{,}3 \text{ кВт};$$

$$Q_3 = \frac{1}{1.112\text{-}1} 114380 \cdot$$

$$\cdot 0.25 \left| \left(\frac{70000}{11438} \right)^{\frac{1.112-1}{1.112}} - 1 \right| = 51.26 \text{ кВт}.$$

Загальна кількість тепла, що виділяється при роботі ПМКС, визначається з (1) та дорівнює:

$$Q_{общ}=Q_1+Q_2+Q_3=$$

$$=7{,}2+3{,}3+51{,}26=61{,}76 \text{ кВт}.$$

Частина тепла, що відводиться стисненим повітрям у повітропровід, дорівнює:

$$Q_{пові}=C_p(T'_2 - T'_1)\ V_i \cdot \rho_o \qquad (2)$$

Підставивши значення у формулу (2), отримаємо:

$$Q_{пов1}=1{,}0(80–21)\cdot 0{,}25\cdot 1{,}2=17{,}7 \text{ кВт}.$$

Тут C_p=1,0 кДж/кг·К– теплоємність повітря при постійному тиску; T'_2=80°С – температура стисненого повітря, що надходить в повітропровід після повітрозбірника компресора; ρ_o=1,2 кг/м³ – щільність 1 м³ повітря при умовах всмоктування.

Решта тепла в кількості:

$Q_{ком1} = Q_{общ} - Q_{пов1} = 61{,}76 - 17{,}7 = 44{,}06$ кВт виділяється в місці розташування компресорної установки і підігріває потік повітря на величину ΔT, яка визначається з вираження:

$$\Delta t_1 = \frac{Q_{ком1}}{C_p \cdot 60 \cdot V_{вс} \cdot \rho_o}. \qquad (3)$$

За середньостатистичними даними витрата повітря у вентиляційному струмені гірничої виробки S=13 м² становить 390 м³/ хв при швидкості повітря 0,5 м³/с, температура

Таблиця. ***Показники роботи модулів ПМКС та температурний режим в гірничій виробці***

Послідовно розташовані модулі ПМКС	Показники роботи модулів		Температурний режим в гірничій виробці	
	Qпові, кВт	$Q_{комі}$, кВт	Δt_i, °С	$t'_{всі}$, °С
ГК №1	17,7	44,06	5,65	21
ГК №2	17,68	44,08	5,75	26,65
ГК №3	17,59	44,17	5,9	32,4
ГК №4	17,58	44,18	6,01	38,3

20°С ($T_{вс1}$). Підставивши значення відомих величин в (3) отримаємо:

$$\Delta t_1 = \frac{44.06}{1.0 \cdot 6.5 \cdot 1.2} = 5.65°\text{C},$$

звідки:

$$t_{гв1} = t'_{вс1} + \Delta t_1 = 21 + 5{,}65 = 26{,}65°\text{C}.$$

З урахуванням цього і у відповідності зі схемою (рис. 1), температура повітря, що всмоктується у другий компресор: $t'_{вс2}$=26,65°С.

Взявши до уваги додаткове виділення тепла при роботі кожного компресора $Q_{ком2}$, визначимо приростання Δt після кожного з них.

Розраховані дані показників роботи модулів та температурного режиму в гірничій виробці наведені у таблиці.

З таблиці видно, що температура вентиляційного струмення повітря після кожного модуля істотно зростає і після другого модуля досягає 32,4 °С.

Відповідно до вимог [4], температура в гірничій виробці не повинна перевищувати 26°С, а за технічною характеристикою УКГШ 15/7 температура навколишнього середовища не повинна бути більше 30°С. Таким чином, без спеціальних конструктивних рішень, які дозволяють поліпшити тепловий режим роботи кожної з КУ (модулів), робота ПМКС є неприпустимою.

Тому, як показало проведене дослідження, необхідне створення спеціальної системи подачі повітря на всмоктування компресорів. Для цього були розроблені наступні вимоги до системи подачі повітря в ПМКС.

1. Система повинна забезпечувати підведення свіжого (не підігрітого) заряду повітря на всмоктування кожного компресора.

2. Забір повітря повинен проводитися на свіжому вентиляційному струмені на вході в гірничу виробку з ПМКС.

3. На вході в систему подачі повітря повинен розміщуватися самоочищуючийся фільтр для попередньої фільтрації шахтного повітря.

4. Система подачі повітря повинна бути легкорозбірною зі спеціальними відводами для підключення модулів.

5. Пристрої для підключення модулів до системи повітрязабору ПМКС не повинні порушувати конструктивних особливостей системи повітрязабору самих модулів .

6. Система повітрязабору повинна мати двухкаскадну схему очищення всмоктуємого повітря від механічних домішок.

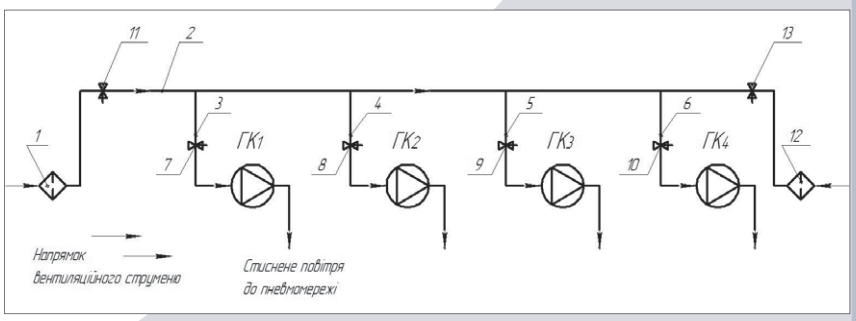

Рис. 2. Спрощена технологічна схема зі спеціальною системою повітрязабору ПМКС

7. Загальна система повітрязабору ПМКС повинна бути реверсивною, на випадок реверсу загальношахтного струменя повітря і при необхідності подачі свіжого струменя з іншого боку гірського вироблення.

8. На вході та виході із загального повітряпроводу системи забору повітря повинні бути забезпечені перекриваючими заслонами для регулювання направлення потоку свіжого заряду повітря, що поступає на всмоктування.

На підставі розроблених вимог була створена спеціальна система повітрязабору, спрощена схема якої наведена на рис. 2.

Ефективне функціонування загальної системи повітрязабору забезпечується таким чином.

Свіжий струмінь повітря з гірничої виробки подається через фільтр 1, що самоочищується, в повітропровід 2, який прокладений у верхній частині вироблення по всій довжині ПМКС. Далі свіжий заряд повітря по ділянках трубопроводу 3,4,5,6 і через спеціальні повітряні заслони 7,8,9,10 подається на всмоктування гвинтових компресорів $ГК_1$, $ГК_2$, $ГК_3$, $ГК_4$. Таким чином забезпечується робота кожного ВК у складі ПМКС без погіршення теплового режиму за умовами всмоктування.

У функціональній схемі роботи кожної компресорної установки (модуля), що входить до складу ПМКС, передбачається скидання стисненого повітря в шахтну атмосферу при спрацьовуванні запобіжних і стравлючих клапанів. Це істотно знижує екологічність ПМКС, а в ряді випадків впливає і на безпеку її роботи.

У зв'язку з цим була розроблена спеціальна система стравлювання стиснутого повітря з порожнин ПМКС, в якій передбачена фільтрація і відведення стисненого повітря на вихідний з шахти вентиляційний струмінь.

На дану технологічну схему роботи ПМКС НДІГМ ім. М.М.Федорова отримав патент України [5].

Розроблена система повітрязабору пройшла апробацію на шахті ім. В.В. Вахрушева.

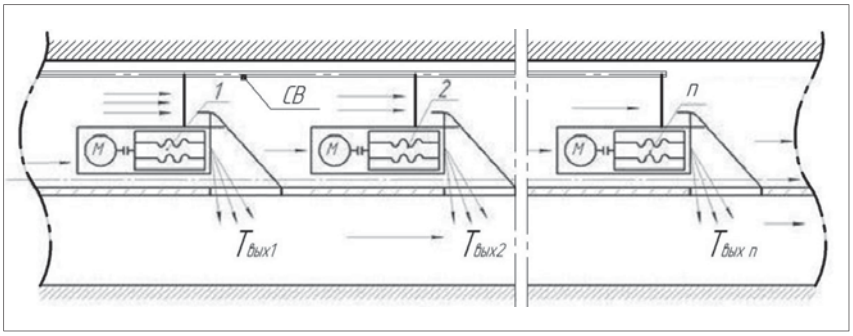

Рис. 3. Технологічна схема ПМКС з відводом теплових потоків від модулів

Розроблена схема повітрязабору ПМКС (рис. 2) вирішує тільки частково питання щодо зменшення теплового впливу один на одного працюючих модулів ПМКС, тому як крім повітря, що надходить на всмоктування модулів, залишається зовнішній вентиляційний потік, який розігрівається від кожної компресорної установки по ходу руху у виробці. З таблиці видно, що вже для третього компресора умови експлуатації по температурі зовнішнього середовища будуть не прийнятними, оскільки значення $T_{вн}$=32,4°С перевищує допустиму за технічною характеристикою норму для компресора, яка обумовлює $T_{вн.к}$ =30 °С.

У зв'язку з цим була розроблена технологічна схема роботи ПМКС з поділом зовнішніх теплових потоків (рис. 3).

Як видно з рис. 3, здійснюється відведення тепла до зовнішнього омиваючого потоку від кожного модуля за розділову перегородку, що практично усуває їх тепловий вплив один на одного. Це дозволяє збільшити кількість модулів в системі ПМКС, тобто з'являється можливість підвищити її загальну продуктивність.

Висновки

1. Нормалізація теплового режиму ПМКС завдяки застосуванню розроблених технічних рішень дозволяє істотно розширити зону її використання в гірничих виробках з різною швидкістю вентиляційного струменя в них.

2. Високоефективна спільна система повітрязабору модульної ПМКС підвищеної продуктивності забезпечує підведення свіжого струменя повітря до кожного модуля незалежно від його місцезнаходження в гірничий виробці.

3. Функціональна схема роботи ПМКС забезпечує мінімальний тепловий вплив модулів один на одного і на свіжий загальношахтний струмінь, що подається до місць ведення гірничих робіт.

Перелік посилань:

1. Лобода В.В. Теплоэнергетическое совершенствование компрессорных станций // Уголь Украины, 1997.– №11.– С. 28-29.

2. Коваль А.Н.. Перспективы применения подземных компрессорных станций на шахтах / А.Н. Коваль, В.В. Лобода, В.И. Шеремет, Ю.А. Матвеев, А.Г. Машиниченко // Уголь Украины, 1997.– 11.- С.31-32.

3. Лобода В.В. Опыт эксплуатации и перспективы применения винтовых компрессорных станций повышенной производительности / В.В.Лобода, О.И.Адылканов, А.Н.Худяков // Сб. науч. тр. НИИГМ им. М.М. Федорова: Горная механика.- Донецк. – 1991. – Вып. 1. – Т.2. – С.181-188.

4. НПАОП 10.0-1.01-10. Правила безопасности в угольных шахтах – Из-во «ФОРТ» – Харьков.– 2010. –225 с.

5. Пат.50835 Україна. МПК F04C29/02, F04C18/16. Підземна компресорна станція / В.В. Лобода, А.М. Коваль, В.Й. Мялковський, Ю.О. Матвеєв, М.О. Марков, О.М. Ященко, В.М. Савицький; заявник і патентовласник ВАТ«Науково-дослідний інститут гірничої механіки ім. М.М. Федорова». – №2000010349; заявл. 21.01.00; опубл. 15.11.02, Бюл №2.