

Докт. техн. наук, проф. В.О. Бойко
(Національний гірничий університет),

канд. техн. наук О.В. Бойко

(Національна металургійна академія України)

ПЕРСПЕКТИВИ ПІДЗЕМНОГО СПОСОБУ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ МЕТАНУ АТМОСФЕРИ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ГАЗОВОЇ ШАХТИ

Предложен новый вариант утилизации метана бедных метановоздушных смесей рудничного воздуха горных выработок с допустимой Правилами безопасности в угольных шахтах концентрацией метана – термokatалитического сжигания метановоздушных смесей непосредственно в горных выработках. Рассмотрены пути использования тепла утилизации метана этих смесей: на нормализацию тепловых условий в горных выработках, для проветривания шахты за счет создания регулируемой естественной тяги и для теплоснабжения поверхностного комплекса и инфраструктуры шахты, а также для производства электроэнергии. Предложена схема сохранения тепловой энергии, полученной от утилизации метана непосредственно в горных выработках, для обеспечения возможности ее сезонного неравномерного использования.

PERSPECTIVES OF UNDERGROUND USE OF ENERGY OF METHANE OF MINE HEADINGS OF GASEOUS MINES

In accordance with results of analyses of energy consumption, spent on technological processes in mines, capable to use heat energy produced by methane utilization directly in mine headings, such as: all-year-round cooling of air for deep horizons, heating of air passed through mine in winter, mine network ventilation by artificially formed heat draft, - an energetic valuation have been carried out. The ways of usage of heat energy excess, produced by underground system of methane utilization, for mines surface complex and infrastructure supply have been proposed. Schemes and means of methane utilization immediately in mine headings and storage of heat recovered under catalytic combustion, when seasonally irregularly used, have been discussed.

Стурбована швидким вичерпанням покладів енергоносіїв світова науково-технічна громада все більше уваги приділяє пошукам нових шляхів отримання енергії та розробці більш ефективних способів використання наявних на Землі джерел енергії. У пошуках альтернативних екологічно чистих джерел енергії фахівці у галузі енергоносіїв все частіше звертають увагу на метан, а фахівці з гірничої справи і екології – на шахтний метан[1, 2, 3].

На 4-й сесії експертів по чистих вугільних технологіях, що відбулася в Женеві у квітні 1996 року, загальний обсяг викидів метану в атмосферу Землі оцінені завбільшки 524 мільйони тонн у рік, з яких на долю шахтного метану приходить близько 9 % (49 млн. тонн). У більш звичних для нас одиницях виміру - кубометрах - річні викиди шахтного метану в атмосферу Землі складають 90 млрд. кубометрів. Якщо оцінити теплотворну спроможність цих викидів шахтного метану, то вона складатиме у прийнятих в теплопостачанні одиницях вимірювання 790 мільйонів Гікалорій, а вартість обсягу щорічно викинутого у навколишнє середовище шахтного метану у цінах світового ринку на природний газ складе \$9 мільярдів. Поряд з економічними втратами людство занепокоєне й екологічною шкодою метану, виділення якого у навколишнє се-

редовище ведуть згідно з дослідженнями, виконаними ще у часи роботи у космосі комплексу “Союз-Аполон”, до зменшення озонового шару Землі.

Вчені-геологи оцінюють запаси метану в гірському масиві Донбасу завбільшки 3 трильйони кубічних метрів, екологи затверджують, що виділення метану в атмосферу на території Донбасу складає близько 5 млрд. кубометрів щорічно, а гірники - за аналогією з розмірами витягу метану при видобутку вугілля в розвинутих країнах - висловлюють думку про можливість уловлювання 2 млрд. кубометрів шахтного метану. Найкращим критерієм перевірки висловлених оцінок могла б стати практика, але вона поки вірогідно свідчить про те, що мільйони кубометрів шахтного метану щодня летять у космічний простір. Цікаво, що в атмосферу викидається навіть придатний для використання як паливо шахтний метан, дренований системами дегазації.

Такі дії шахтарів не можна назвати безгосподарними, бо видалення метану з гірничих виробок засобами вентиляції порівняно з дегазацією у кілька разів дорожче по витраті електроенергії. Зрозуміло, що треба по-господарськи використати шахтний метан, і у першу чергу ті його суміші, що мають більшу концентрацію і можуть бути без утруднень утилізовані.

Для цього необхідно приділити особливу увагу підвищенню ефективності дегазації, перетворивши її в керовані системи, що забезпечують максимальний витяг кондиційних, придатних для використання метаноповітряних сумішей. Такі роботи, хоч і в обмеженому обсязі через відсутність фінансування на дослідну перевірку, на Україні ведуться як у напрямку створення засобів контролю і управління підземними системами шахтної дегазації [4], так і по використанню енергії метану бідних метаноповітряних сумішей. Але вони здатні вирішити проблему використання лише частини шахтного метану, бо ніде у світі не існує технологій видобутку вугілля, здатних повністю запобігти виділення метану у повітря гірничих виробок. Нижче наводяться основні відомості запропонованого нами способу використання енергії метану безпосередньо в гірничих виробках, що ґрунтується на сучасних досягненнях аерології шахт, техніки нормалізації теплових умов у гірничих виробках глибоких шахт та безпечного регулювання провітрювання газових шахт, і ставить своєю метою суттєве підвищення техніко-економічних показників вентиляції і кондиціонування повітря за рахунок зменшення споживання електроенергії. При розробці способу і засобів вирішення цієї задачі ставилась мета максимально спростити систему витягу енергії метану і наблизити її до об'єктів використання, уникнувши можливих втрат при транспортуванні. Суть розробки розкривається нижче на основі схеми, наведеної на рис.1. На вихідному струмені окремої лави або групи їх (дільниці, ярусу, горизонту чи панелі) розташовується станція регулювання провітрювання і утилізації метану. Система регулювання провітрювання виконує свої стандартні функції розподілу повітря між видобувними вибоями при зміні газовиділень і підтримує стабільну концентрацію метану у вихідних струменях лав 1.3 % метану, що регламентується ПБ. Принцип побудови, засоби та алгоритм функціонування системи регулювання провітрювання газової шахти наведені у [5]. Для використовуваних практично на всіх га-

зових шахтах України стовбових систем розробки це забезпечує подачу до станції утилізації метану суміші практично з тією ж концентрацією метану 1.3 %. При цій концентрації кубометр суміші містить 13 літрів метану, термокаталітичне спалювання якого забезпечує виділення 450 кДж тепла і приріст температури продуктів горіння на 380°C . Зрозуміло, що при такій концентрації метану і при такій температурі метаноповітряна суміш не горить відкритим полум'ям і вибухнути не може, оскільки температура продуктів горіння у два рази менша температури спалаху метану. Спалювання метану, виходячи з умов безпеки, повинно бути тільки безполум'яним, термокаталітичним. Стійкий термокаталіз при платино-паладієвих каталізаторах починається при 180°C , у нашому випадку температура продуктів спалювання у два рази вище, що дає змогу використати дешевші каталізатори. Станція утилізації метану має у своєму складі фільтр 1 для очистки повітря від пилу, батарею 2 термокаталітичних каталізаторів, термонагрівальник 3 і пристрій запуску термокаталізу 4, систему трубопроводів 5, насос для циркуляції води і систему 7 регулювання дебіту охолоджуючої води. Поряд зі станцією розташовано вентиляційний шлюз.

Робота станції утилізації метану здійснюється таким чином: при відкритих дверях вентиляційного шлюзу, що призначений для допоміжного регулювання дебіту повітря, проходу людей та проїзду вагонеток з матеріалами, при виключеному насосі циркуляції охолоджуючої води вмикається живлення нагрівача пускової секції термокаталітичного блоку і проводиться його розігрівання до температури початку термокаталізу. Після закінчення прогріву робочого об'єму термокаталізатора двері шлюзу закриваються, струмінь метаноповітряної суміші тече через порову стіну блоку термокаталізу і тепло від термокаталітичного згорання метану прогріває весь обсяг блоку, включаючи розміщені у ньому труби з охолоджуючою водою. Пусковий підігрівач термокаталітичного блоку вимикається, температура блоку термокаталізу далі підтримується тільки за рахунок термокаталітичного спалювання метану, вмикається насос циркуляції охолоджуючої води і починається регульований відвід тепла спалюваного при термокаталізі метану залежно від потреб споживачів теплової енергії. Теплова енергія, отримана при роботі станції утилізації метану, відводиться двома шляхами – охолоджуючою водою і нагрітим при термокаталізі струменем продуктів спалювання метаноповітряної суміші, що пройшла через блок.

Тепло нагрітої води може бути використане у такі шляхи :

- теплозабезпечення потреб внутрішньої холодильної абсорбційної установки, що здійснює нормалізацію теплових умов на горизонтах нижче діючого;
- теплопостачання поверхневого комплексу шахти, включаючи підігрів холодного повітря, що подається у шахту взимку;
- теплопостачання інфраструктури шахти, включаючи опалення і подачу гарячої води для житлового комплексу поруч з шахтою чи агрокомплексу;
- теплопостачання енергетичного комплексу виробки електроенергії.

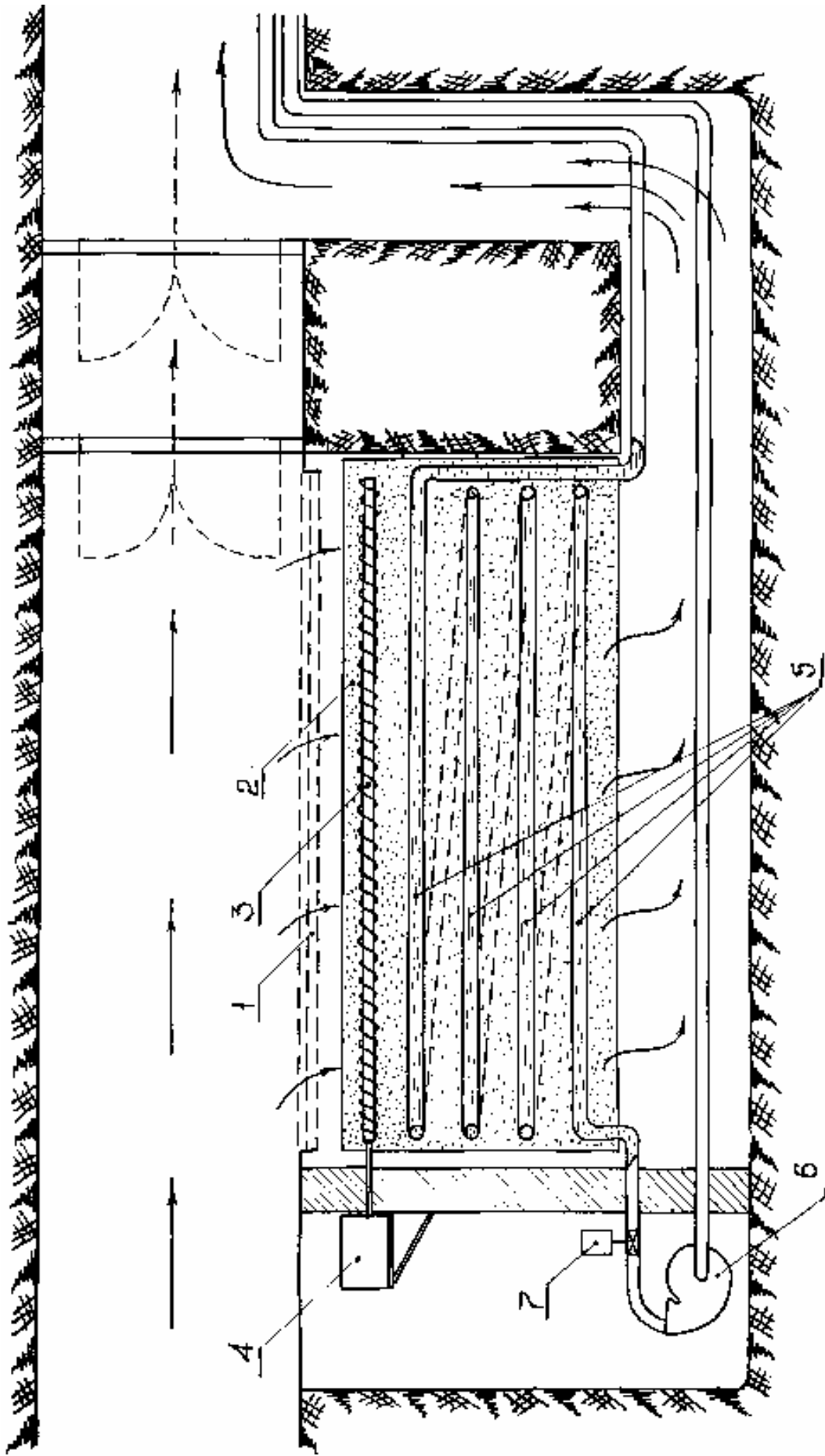


Рис. 1

Тепло нагрітого повітряного струменю може бути використано для:

- забезпечення провітрювання шахти за рахунок дії штучної теплової тяги;
- заощадження тепла у допоміжному акумуляторі енергії при її нерівномірному або сезонному використанні.

Виконані у 70-х роках минулого сторіччя Інститутом технічної теплофізики АН УРСР науково-дослідні роботи по створенню і промислово-дослідній перевірці шахтної холодильної абсорбційної установки на основі серійного бромистолітєвого агрегату АБХА-2500, що випускався заводом 'Пензахімаш', виявили можливість і доцільність використання абсорбційних холодильних машин на шахтах і шляхи поліпшення їх техніко-економічних показників. Для підвищення приведеного теплового коефіцієнта холодильної машини (тобто виробки холоду, одержаного за рахунок одиниці тепла) в шахтних холодильних абсорбційних бромистолітєвих установках запропоновано використати двоступеневу регенерацію розчину з підвищеним тепловим потенціалом гріючого тепла замість закладеної в АБХА при їх розробці одноступінчатої схеми з низьким тепловим потенціалом гріючої води або пару. Така модернізація АБХА забезпечила значне зростання приведенного холодильного коефіцієнта (майже у два рази) і дозволила досягти однакових з кращими компресійними установками холодильних коефіцієнтів. Але економічно АБХА набагато вигідніше, бо вони можуть працювати на дешевій тепловій енергії шахтних котельних в той час, як компресійна холодильна установка потребує для живлення тільки електроенергії, якої шахта не виробляє. Агрегат АБХА-2500 при холодопродуктивності 2.5 Гкал/год забезпечує подачу охолоджуючої води з температурою $7 \text{ }^\circ\text{C}$ $500 \text{ м}^3/\text{год}$, але потребує 7 т/год пару, 180 т/год гарячої води при температурі $100 \text{ }^\circ\text{C}$ і $750 \text{ м}^3/\text{год}$ охолоджуючої води з температурою $26 \text{ }^\circ\text{C}$. АБХА є крупногабаритною спорудою з загальною вагою 100 тон, тому на основі результатів її випробувань було зроблено висновок, що ця установка перспективна для використання тільки на поверхні [6]. Зрозуміло, що подача величезної кількості охолоджуючої і гріючої води і пари на глибину 1000 м і більше навіть при наявності на шахті потужної котельні є важкою (а для пари - практично невирішуваною) задачею, що поряд з великими розмірами і вагою установки привело до такого обґрунтованого висновку. Але ситуація докорінно змінюється, коли відкривається можливість отримувати гарячу воду і навіть пару безпосередньо на глибоких горизонтах поряд з холодильною установкою. Що стосується габаритів і ваги холодильної установки, то, по-перше, вона монтується з окремих вузлів і блоків, що не потребують точних робіт, по-друге, в тій же роботі [6] приводяться відомості про розробку нового ряду АБХМ холодопотужністю 0.5, 1.0 і 5.0 Гкал/год , тобто при необхідності одержання великої холодопродуктивності мається можливість монтувати холодильну установку з агрегатів меншої потужності в одиниці. До речі, така практика широко використовувалась на шахтах Донбасу стосовно до компресійних холодильних установок. Турбокомпресори також є крупногабаритними і великоваговими машинами, тому при великій потребі у холоді доводиться монтувати в рудворі центральну холодильну установку з декількома турбокомпресорами. Наприклад, на шахтах "Кіровська", № 29, ім. Калініна було встановлено по дві

"Кіровська", № 29, ім. Калініна було встановлено по дві ШХТМ-1300, на шахтах "Прогрес", № 21-біс, № 6 "Червона зірка" – по три таких же установки в руддворах на глибинах 1100-1400 м, на шахті № 4-21 - чотири, а на шахті "Петровська" – аж 6 таких установок.

Питання вибору місця розташування, потужності її агрегатів та сумарної теплової потужності станції утилізації нами не розглядаються, але вже й тепер ясно, що вона повинна бути стаціонарною спорудою з досить довгим строком існування, що може викликати часткову зміну схеми провітрювання лави (панелі, блоку чи крила шахти), потребу спорудження додаткових виробок для відводу гарячих струменів із шахти та накопичення тепла біля об'єктів споживання їх теплової енергії.

У світовій практиці немає досвіду проектування, будівництва та експлуатації великих термokatалітичних камер для спалювання бідних метаноповітряних сумішей, а тим більше - створення і експлуатації їх у підземних умовах. В той же час немає сумніву, що ці проблеми настане пора вирішувати у пошуках альтернативних джерел енергії, а використання енергії шахтного метану може дати не тільки економічний ефект, але й допомогти у вирішенні проблеми створення нормальних умов і безпеки праці, тобто є соціально важливою проблемою.

Використання енергії спалюваного безпосередньо у гірничих виробках метану для провітрювання блоку чи всієї шахти ґрунтується на провітрюванні мережі гірничих виробок шахти за рахунок теплової тяги, що її створює різниця об'ємної ваги повітря на свіжому і відпрацьованому струменях повітря. Для сучасної глибокої шахти з вертикальними стволами це практично є різниця ваги стовбурів повітря у клітьовому і скіповому стволах. Теплова тяга може бути підрахована з залежності

$$h_e = 13.6 \times P_0 \times \left(e^{\frac{H}{R \cdot T_{cp1}}} - e^{\frac{H}{R \cdot T_{cp2}}} \right),$$

де P_0 - тиск повітря на денній поверхні у мм.рт.ст., H - глибина горизонту ведення робіт, м, T_{cp1} та T_{cp2} - відповідно середня температура поступаючого та вихідного струменів, °С.

Як видно з залежності, величина тяги залежить від атмосферного тиску, глибини ведення гірничих робіт та середніх температур повітря на свіжому і вихідному струменях. Нас цікавить, яка температура продуктів спалювання метаноповітряної суміші необхідна на виході зі станції утилізації метану для того, щоб забезпечити провітрювання блоку чи шахти. Для цього необхідно провести розрахунок провітрювання блоку (шахти), визначити кількість повітря для провітрювання, вибрати і розрахувати мережу гірничих виробок, визначити величину її аеродинамічного опору, визначити потрібну депресію вентилятора. Далі провести тепловий розрахунок шахти, визначити температуру гірського масиву на глибині ведення гірничих робіт і тепловиділення від виробничих процесів, від окисних процесів вугілля та гірських порід, визначити з врахуванням цих

параметрів температуру повітря у характерних точках шахти. Приймавши величину теплової тяги рівною розрахованій депресії вентилятора, знайти з наведеної вище залежності необхідну середню температуру вихідного струменю повітря, а далі, врахувавши адіабатичне охолодження повітря за рахунок розширення при підйомі до денної поверхні і температуру вихідного струменю з теплового розрахунку шахти, знайти необхідний приріст температури повітря при нагріванні. Це досить складний розрахунок і виконувати його необхідно для конкретних умов, тому за браком місця тут наведено лише відомості про зміст розрахунку. Але не потрібно боятись цих розрахунків, по-перше, тому, що академік О. Н. Щербань та його школа розробили наукові основи таких розрахунків, по-друге, тому, що на будь-якій надкатегорній шахті енергії виділюваного метану вистачить для створення достатньої теплової тяги і прийдеться вирішувати питання, як використати зайву тягу або зменшити температуру вихідного струменю повітря. Це також окрема вирішувана задача, хоч поки-що готових рекомендацій немає, бо відсутні результати глибокого теоретичного і розрахункового обґрунтування, лабораторної і промислово-дослідної перевірки, визначення економічної ефективності запропонованого способу.

Серед причин слабого використання дренажного шахтними системами дегазації метану чи не найважливішою є відсутність на шахтах Донбасу сховищ для його зберігання і наступного використання. Такі сховища можуть бути створені із застосуванням технології будівництва поземних споруд (що і робиться у ФРН) чи з застосуванням підземних ядерних вибухів (що і робиться в США по Плаушерській програмі). Жоден з цих способів спорудження для України неприйнятний: досвід ФРН ми не можемо застосувати через високу вартість робіт, а створення підземних сховищ за допомогою атомних вибухів для нас недоступне як для держави, що має статус без'ядерної. Але якщо ми не маємо змоги зберігати порівняно невеликі кількості кондиційного метану з системою дегазації, то не може бути будь-якої надії на збереження бідних МПС. Тому від ідеї збереження шахтного метану поки-що прийдеться відмовитися. Але можна зберігати тепло, отримане при утилізації шахтного метану будь-яких концентрацій, а також тепло, що витягається з надр Землі з метою інтенсивного його використання в зимовий час. Така ідея висловлена нами при розгляді питання про перспективи нормалізації теплових умов при будівництві й експлуатації глибоких шахт Донбасу [7]. Як перший крок на шляху упорядкування використання енергії, отриманої при утилізації шахтного метану, при її нерівномірному чи сезонному використанні пропонується створити заглиблені нагромаджувачі тепла в зоні постійних температур Землі. Їх можна створити неподалік від свердловини, що виводить на поверхню землі вихідний струмінь шахти, побудувавши поблизу від свердловини у зоні постійних температур (на глибині 30-35 м) розгалужену мережу паралельних виробок, обладнану системою труб з форсунковими розпилювачами води і розташованими під виробками резервуарами для зберігання нагрітої води. Циркуляція води у системі "резервуари-насос-форсунки-поверхня виробок-резервуар" дозволить накопичувати тепло не тільки в обсязі води у резервуарах, й у породах, що оточують їх.

Взимку циркулююча у мережі "споживачі нагрітої води – резервуари" вода забере надлишок тепла масиву гірських порід.

На закінчення відзначимо, що необхідність рішення проблеми використання шахтного метану впливає як з вимог екології по запобіганню руйнування озонного шару атмосфери Землі, так і для вирішення комплексу прикладних задач глибоких шахтах, включаючи провітрювання мережі виробок і аспекти створення нормальних кліматичних умов праці шахтарів.

ВИСНОВКИ

1. Для підвищення безпеки робіт у виробках глибоких газових шахт, поряд з використанням комплексу мір по попередженню виділень метану у гірничі виробки (зв'язування метану, дегазація розроблюваних пластів, супутників та віддробленого простору), пропонується створити і використати станцію термокаталітичного спалювання метану бідних метаноповітряних сумішей безпосередньо в умовах виробок шахт, надійно забезпечивши дозволена Правилами безпеки у вугільних шахтах концентрацію 1.3% метану за рахунок функціонування системи регульованого провітрювання шахти.

2. Розглянуто структуру і принцип дії станції підземного термокаталітичного спалювання метану, що розташовується у вихідних струменях видобувних дільниць, напрямки та засоби забезпечення великих обсягів метаноповітряної суміші для панелі, блоку чи крила шахти за рахунок роботи системи автоматичного регулювання провітрювання шахти.

3. Пропонуються і обґрунтовуються шляхи використання тепла утилізації шахтного метану для нормалізації теплових умов у гірничих виробках глибоких шахт, їх провітрювання за рахунок теплової тяги, а також для теплопостачання поверхневого комплексу, інфраструктури регіону та виробки електроенергії.

4. Як засіб упорядкування використання теплової енергії, отриманої при утилізації шахтного метану при її нерівномірному чи сезонному використанні, пропонується створити заглиблені нагромаджувачі тепла в зоні постійних температур Землі.

5. Запропонований спосіб, засоби і шляхи використання шахтного метану з метаноповітряних сумішей вихідних струменів шахт не мають прототипів у світовій практиці і, поряд з підвищенням безпеки робіт, здатні вирішити задачі соціального, техніко-економічного та екологічного плану.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трубецкой К.Н., Стариков А.В., Гурьянов В.В. Добыча метана угольных пластов - перспективное направление комплексного освоения георесурсов угольных отложений. // -М.: Уголь, 2001. № 6.- с. 36-40.
2. Півняк Г.Г., Пілов П.І., Бондаренко В.І., Саллі В.І., Сургай М.С. та інші. Проблеми стратегії розвитку вугільної промисловості України. Сборник научных трудов НГУ, №17, том 1. с. 3-11. Днепропетровск, 2003.
3. Бойко В.А. Экологические аспекты обеспечения Украины энергоносителями. -Днепропетровск. Сборник научных трудов НГА Украины, 2001 г., № 12, том 2, с. 1-6
4. Бойко В.А., Мирошник Г.А., Фрундин В.Е. Комплекс технических средств контроля и управления дегазационными системами.// -Киев. Уголь Украины, 1998, №1
5. Абрамов Ф.А., Бойко В.А. Автоматизация проветривания шахт (Теоретические основы и технические средства). "Наукова думка", Киев, 1967, 310 с.
6. Щербань А.Н., Кремнев О.А., Журавленко В.Я. Руководство по регулированию теплового режима шахт.

М., Недра, 1977, 360 с.

7. Бойко В.А. Энерготехнологические комплексы - будущее глубоких шахт Донбасса. Сборник научных трудов НГУ № 17, том 1, с. 93-103. Дн-ск, 2003.

УДК 622.817.47

Д-р техн. наук, проф. Н.Ф. Кременчуцкий,
ассистент О.А. Муха,
ассистент И.И. Пугач
(Национальный горный университет)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕГАЗАЦИИ НА ПРИЗАБОЙНОМ УЧАСТКЕ ГАЗОПРОВОДА

У статті запропонована методика розрахунку параметрів дегазації на привибійній ділянці газопроводу з обґрунтуванням відносно постійного режиму дегазації.

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF DECONTAMINATION ON THE TAKING-OUT SITE OF A GAS MAIN

In article the design procedure of parameters decontamination on the taking-out site of a gas main with a substantiation concerning a constant mode of decontamination is offered.

Параметры дегазации определяются для подрабатываемых сближенных пластов при бурении скважин навстречу очистному забою из погашаемых выработок.

Баланс метановоздушной смеси (МВС) на участке газопровода между точками подключения дегазационных скважин к газопроводу и отключения от него записывается в виде дифференциального уравнения

$$\frac{dc}{dl} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{mi} - c \sum_{i=1}^n Q_i}{l \sum_{i=1}^n Q_i},$$

где c – концентрация метана в газопроводе, мг/м³; l – переменная длина газопровода, м; $\sum_{i=1}^n I_{mi}$ – суммарная масса метана, поступающего в газопровод,

мг/мин; $\sum_{i=1}^n Q_i$ – суммарный расход МВС, поступающего в газопровод, м³/мин;

n – количество одновременно работающих скважин.

Для определения концентрации метана в газопроводе после предварительного разделения переменных производится интегрирование