

випробування різні, а особливо діаметри частинок, від розмірів яких коефіцієнт проникнення залежить найбільше. Це порушує вимоги ДСТУ 1.5-2003.

На наш погляд, необхідно все ж таки залишити випробування респіраторів за тест-аерозолем масляний туман, оскільки він є монодисперсним, в ньому передбачена можливість швидкого контролю дисперсності частинок, що відсутнє в європейських методах. Крім того, для оснащення лабораторій можна використовувати вітчизняне обладнання, а не імпортоване. У порівнянні з іншими, він має досить жорсткі умови для перевірки якості ЗІЗОД.

Список літератури

1. Rengasamy I S., Eimer B. C., Shaffer R. Comparison of Nanoparticle Filtration Performance of NIOSH-approved and CE-Marked Particulate Filtering Facepiece Respirators // Ann. Occup. Hyg. – 2009. – Vol.53, No.2. – PP. 117–128.
2. Johnson T. Smith S. Correlation of penetration results between filter testers that use different particle generators and detection methods: Proceedings of the 1998 Nonwove Conference, TAPPI, St. Petersburg, Florida, (1998). – PP. 104 – 109.
3. Martin SB, Jr, Moyer ES. Electrostatic respirator filter media: filter efficiency and most penetrating particle size effects // Appl. Occup. Environ. Hyg. – 2000. – Vol. 15. – PP. 609 – 17.
4. Rengasamy S, King WP, Eimer B et al. Filtration performance of NIOSH-approved N95 and P100 filtering-facepiece respirators against 4–30 nanometer size nanoparticles // J. Occup. Environ. Hyg. – 2008. – Vol. 56, No5. – PP. 556 – 64.
5. Bałazy A, Toivola M, Reponen T, Podgorski A, Zimmer A, Grinshpun SA. Manikin-based performance evaluation of N95 filtering-facepiece respirators challenged with nanoparticles // Ann. Occup. Hyg. – 2006. – Vol. 34, No 2. – PP. 51 – 57.

6. Средства индивидуальной защиты органов дыхания: Справочное руководство / П.И. Басманов, С.Л. Каминский, А.В. Коробейников, М.Е. Трубицына. – СПб.: ГИПП „Искусство России“, 2002. – 399 с.
7. Кошелев В.Е., Тарасов В.И. Просто о простом в применении средств защиты дыхания. – Пермь: „Стиль-МГ“, 2007. – 540 с.

Рассмотрена ситуация с нормативной документацией и методами испытаний качества средств индивидуальной защиты органов дыхания. Установлено, что основная функция контроля и расчета точности испытаний возложена на лаборатории. Рассмотрены методы испытаний и определены их недостатки. Проведена сравнительная характеристика тест-аэрозолей и сходимости результатов. По полученным данным испытаний подтверждены различия в используемых методах. Установлены общие закономерности определения коэффициента проникания.

Ключевые слова: стандарт, метод испытаний, тест-аэрозоль, защитная эффективность, диаметр частиц

It has been considered the situation with legislative acts and respiratory protective device quality test methods. It has been set that the basic function of control and calculation of accuracy of tests is laid on laboratories. The methods of tests have been considered and their defects have been identified. Comparative description of test-aerosols and convergence of results has been conducted. Test findings have confirmed distinctions of methods applied. General dependences of determination of penetrating coefficient have been set.

Keywords: standard, test method, test-aerosol, protective efficiency, particle diameter

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Голінком 01.06.10

УДК 622.324.5:347.249

© Ширін Л.Н., Сорбат Ю.В., Федоренко Е.А., 2010

Л.Н. Ширін, Ю.В. Сорбат, Е.А. Федоренко

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ПІДґРУНТЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ МЕТАНУ ВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩ УКРАЇНИ

L.N. Shirin, Yu.V. Sorbat, Ye.A. Fedorenko

REGULATORY-LEGAL BASIS OF PERSPECTIVE USE OF METHANE OF COAL DEPOSITS OF UKRAINE

Проаналізовано законодавчу базу України, яка стосується видобутку та утилізації метану вугільних родовищ. Проаналізовано показники видобутку та утилізації метану вугільних родовищ у деяких країнах світу. Розраховані витрати на виплату стягнень за забруднення навколишнього природного середовища при викидах метану вуглевидобувних підприємств в атмосферу. Розглянуто екологічні та економічні аспекти утилізації метану. Наведено дані про перспективи утилізації шахтного метану в Україні.

Ключові слова: метан вугільних родовищ, утилізація, забруднення навколишнього природного середовища

В умовах сьогодення газонасні вугільні родовища вважаються найбільш ефективним нетрадиційним джерелом вуглеводневих газів. Метан вугільних родовищ у перерахунку на умовне паливо займає в світі 3–4 місце після вугілля, нафти й природного газу [1]. Враховуючи, що видобуток метану відноситься до числа пріоритетних завдань паливно-енергетичного комплексу нашої держави, уряд України прийняв низку важливих законодавчих документів, а саме: 11 серпня 1997 р. наша держава стала учасницею Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, 15 березня 1999 р. був підписаний Кіотський протокол до Конвенції, а 4 лютого 2004 р. Верховна Рада України ратифікувала його. Таким чином ці міжнародні угоди стали складовими національного законодавства України [2].

Слід відзначити, що 21 травня 2009 р. Верховна Рада нарешті прийняла закон № 1123 „Про газ (метан) вугільних родовищ“. Головними напрямками розвитку галузі визначено використання газу як матеріального і/чи енергетичного ресурсу (на території видобутку шляхом поставок кінцевому споживачу газотранспортними мережами, у тому числі, як суміші з природним газом) [3]. Закон, який вступив в силу 19 червня 2009, також регламентує правові, економічні, екологічні й організаційні основи діяльності в сфері геологічного вивчення газу (метану) вугільних родовищ, у тому числі, дослідно-промислової розробки, видобування його під час дегазації і подальшого використання. Відносини щодо геологічного вивчення та видобування метану вугільних родовищ також регулюються Кодексом України про надра, Земельним кодексом України, Гірничим законом України, законами України „Про нафту і газ“, „Про альтернативні види рідкого та газового палива“, „Про охорону навколишнього природного середовища“, „Про охорону праці“ та іншими нормативно-правовими актами. Але в сучасних ринкових умовах підприємства вугільної галузі потребують розробки не лише стратегій і перспективних планів, але й робочих програм для подальшої утилізації метану в масштабах шахти, шахтоуправління або об'єднання з видобутку вугілля.

Оцінюючи вищенаведені нормативно-правові документи, можна вважати, що в Україні на даний час створена лише законодавча основа для перспективного розвитку нового напрямку в масштабах паливно-енергетичної галузі, яка потребує ще значного доопрацювання та сприяння з боку керівництва вугільних підприємств.

З метою виявлення перспективних споживачів, залучення додаткових інвестицій, розробки перспективних напрямків супутнього видобутку і подальшої утилізації шахтного метану, нижче розглянуто досвід закордонних та вітчизняних підприємств, які безпосередньо використовують цей газ для власних потреб.

Інтерес до видобутку метану з вугілля виник ще на початку 80-х років XIX століття. Беззаперечним лідером у цій галузі є США, де щороку видобувають близько 50 млрд кубометрів метану (що складає близько 10% від загальної кількості видобутку природного газу). В цій державі передбачені значні пільги для компаній, які

займаються видобутком метану із вугільних пластів. Окрім цього вилученням метану плідно займаються також у Австралії, Китаї, Канаді, Німеччині, Польщі та Великобританії. Для цих країн видобуток метану вже давно є не тільки засобом зниження рівня травматизму та нещасних випадків, спричинених газодинамічними явищами на вугільних шахтах, але уже давно метан сприймається як цінний енергетичний ресурс.

Проаналізуємо солідний та успішний досвід ФРН. На даний час найкращих результатів з видобутку, утилізації та реалізації принципів Кіотського протоколу досягла Німеччина. Німецькі фахівці вважають, що такий успіх їм забезпечило застосування невеликих контейнерних теплових електростанцій (КТЕС), які працюють на шахтному метані. Більшість з них змонтована на уже відпрацьованих шахтних полях і тут вони працюють на 20% ефективніше, ніж на діючих шахтах. Успішний досвід застосування більше ніж 130 КТЕС, забезпечив подачу 55 емісійних проектів, що стосуються викидів шахтного метану, два з яких визнані дійсними і працюють як утилізаційні емісійні проекти, що відповідають усім критеріям Кіотського протоколу.

На нашу думку, ці досягнення стали можливими дякуючи прийняттю у ФРН „Закону про стимулювання використання відновлюваних енергоресурсів“, який гарантує подачу виробленої з використанням шахтного газу електроенергії споживачам в мережу за фіксованою ціною і на довготривалий період. На законодавчому рівні було прийнято рішення про використання КТЕС на шахтному газі з уже відпрацьованих шахтних полів. До того ж, ця інноваційна технологія успішно розвивається завдяки підтримці уряду землі Північний Рейн – Вестфалія й активній участі в проекті німецьких учених.

За викидами шахтного метану Україна займає п'яте місце в світі після США, Казахстану, Китаю та Австралії. З метою підвищення рівня безпеки при освоєнні метанонасних вугільних родовищ, промисловим видобутком альтернативного виду палива нещодавно почали займатися і в російському Кузбасі. Обумовлено це тим, що зі збільшенням глибини розробки вугільних пластів, їх газонасності і величини гірського тиску зростає частота та інтенсивність газодинамічних явищ. Усе це спостерігається і в Україні, а Донецький вугільний басейн є одним з найбільш складних у цьому відношенні.

Найбільші родовища природного газу в Україні вже відпрацьовані ще за часів СРСР і зараз використовуються як газосховища [4], а розробка відносно невеликих родовищ природного газу вважається економічно не вигідною. У зв'язку з цим необхідно використовувати альтернативні джерела енергії, до яких відносять вилучення метану вугільних родовищ.

Видобуток метану з вугільних пластів (дегазація) та його утилізація позитивно відображаються не лише на екологічній ситуації регіону (метан – один із основних видів парникових газів, котрий здатний утримувати тепло в 21 раз більше, ніж вуглекислий газ [5, 6]) і, разом з підвищенням рівня безпеки праці

шахтарів, дозволяє збільшити обсяги видобутку вугілля. Окрім цього, використання метану як палива для котелень чи інших агрегатів приносить позитивний економічний ефект та забезпечує дотримання Україною міжнародних екологічних зобов'язань, таких як Рамкова конвенція та Кіотський протокол.

Шахти України, особливо Донбасу, характеризуються досить складними гірничо-геологічними умовами, що потребує індивідуального підходу у вирішенні актуальних завдань галузі. За даними Макіївського Державного науково-дослідного інституту з безпеки робіт в гірничій промисловості, на сьогоднішній день дегазація застосовується на 44 шахтах Донбасу і лише на 15 шахтах видобутий метан утилізується [7], що складає всього 4% від загального газовиділення і майже в 4–5 разів нижче європейських показників. Слід відзначити, що навіть незначний вітчизняний досвід утилізації шахтного метану дає можливість стверджувати, що метан можна використовувати не тільки для потреб енергетики і теплопостачання, але й для заправки автомобілів та у промисловості. Практично доведено, що застосування метану для автотранспорту обходиться значно дешевше бензину чи дизельного пального. Через зростання цін на нафту та природний газ використання альтернативних видів палива стає дедалі більш економічно вигідним. Застосування метану, як альтернативного виду палива для автомобілів, у 5–10 разів зменшує викиди вуглеводневих сполук, а також, дозволяє повністю виключити потрапляння до атмосфери шкідливих для здоров'я викидів. Метан не містить у собі домішок, які утворюють нагар та забруднюють паливну систему автомобіля. У Великобританії цей газ використовують для заправки рейсових автобусів у вуглевидобувних регіонах країни. Оснащення місць видобутку метану спеціальним обладнанням, наприклад, автомобільними газонаповнювальними компресорними станціями, виробництво яких налагоджено в Україні, дозволить запровадити автомобілі стисненим газом. При цьому слід пам'ятати, що метан вугільних шахт, при теперішньому розвитку техніки, не зріджується, а лише стискається.

Газове моторне паливо за багатьма показниками перевищує якість традиційних видів нафтового палива. Порівняння властивостей стисненого метану з іншими традиційними видами палива показує, що він має такі переваги:

- при використанні шахтного метану відпрацьовані гази двигунів практично не містять сажі, утворюється менша кількість двоокису вуглецю та окису вуглецю, порівняно з іншими видами палива;

- октанове число природного газу дорівнює 102–108, що вище октанового числа бензинів (93–98);

- має високі антидетонаційні властивості та не містить тетраетил свинцю;

- температура samozапалення бензину становить +473 К, стисненого газу + 723 К, тому бензин є більш небезпечним видом палива щодо пожежонебезпечності, ніж газ. Але ця ж якість ускладнює запуск карбюраторного двигуна при низьких температурах;

- при роботі двигунів на газі масло з робочих поверхонь циліндропоршневої групи не змивається і не

розріджується; твердих частинок у маслі набагато менше, ніж при роботі на бензині і дизельному пальному. Тому збільшується ресурс роботи двигуна в 1,5, а ресурс масла – в 2 рази.

Досвід вилучення метану вугільних родовищ в Україні показав, що його промисловий видобуток не тільки можливий, але й рентабельний. Прикладом комплексного вирішення питань дегазації та утилізації метану для виробництва електроенергії, тепла й моторного палива є реалізація проекту на шахті ім. А.Ф. Засядько (когенераційні установки з виробництва тепла та електроенергії, використання метану для автопарку підприємства), але, на жаль, це поодинокі випадки використання метану вугільних родовищ. Передусім це пов'язано із складністю підбору установок для утилізації метану. Навіть, коли концентрація метану влаштовує показники утилізаційної установки, не враховуються вологість та наявність пилу у метаноповітряній суміші, а це дуже суттєво впливає на роботу установки і може навіть завадити її пуску. Для рентабельної роботи стандартної газотурбінної установки, які випускаються в Україні (або переобладнаного на газ шахтного котла), концентрація метану повинна бути вище 35%. Наявність у робочих циліндрах газопоршневих двигунів форкамер дозволяє працювати газопоршневій установці на порівняно бідних сумішах (ш. ім. А.Ф. Засядько), але не нижче 25% метану в суміші, згідно із закордонними стандартами. Концентрацію метану можна підвищувати за рахунок додавання до суміші природного газу.

На якість метану впливає літологічний склад вміщуючих порід, тектонічні порушення гірського масиву та його водонасиченість, параметри очисних та дегазаційних робіт [8]. Шахтними дослідженнями встановлено, що видобування метану вугільних родовищ супроводжується підсосами повітря і в газопроводи подаються метано-повітряні суміші. Результати аналізу хімічного складу показали, що основними компонентами таких сумішей є: метан, азот, вуглекислий газ, кисень. У вигляді домішок зустрічаються водень, важкі вуглеводневі сполуки, інертні гази.

Враховуючи зазначені недоліки, варто відмітити й очевидні переваги: у газі вугільних родовищ відсутні отруйні та механічні домішки і тому він не спричиняє шкідливого впливу на обладнання та контрольно-вимірювальну апаратуру. У цьому відношенні метан вугільних родовищ суттєво відрізняється від штучних газів. Так, наприклад, основними горючими продуктами газу підземної газифікації є сірководень та оксид вуглецю, які дуже токсичні для людини.

Особливість функціонування шахтних дегазаційних мереж полягає в тому, що вони видобувають метан в обмежених кількостях і їх дебіт нестабільний, причому вміст метану в суміші може змінюватися в широких межах. Цим та рядом інших факторів (наприклад, розосередженість окремих джерел видобування метано-повітряної суміші по великій території, рельєф чи наявність будівель на місцевості, де необхідно прокласти трубопровід чи бурити дегазаційні свердловини) обумовлюється специфіка проблеми транспортування ме-

тану для подальшої утилізації. Також сюди можна віднести складність проектування та необхідність реструктуризації шахтних газопроводів, в тому числі корегування перерізів дегазаційних газопроводів для збільшення їх пропускної здатності. Необхідно також покращити якість та довжину герметизації свердловин, удосконалити охорону устя свердловин від руйнування. У перспективі бажано вилучати метан з різних ділянок окремими трубопроводами [7]. Уникнути негативних явищ, що характерні для протяжних трубопроводів, можна шляхом локального використання метану для потреб шахти, наприклад, у котельнях.

Доведено, що за наявності споживача тепла протягом року котельні є найбільш ефективними установками для утилізації метану, але практично стовідсоткове використання тепла можливе лише як виняток. У теплу пору року, коли знижуються об'єми споживання тепла, надлишки теплової енергії можна використовувати для охолодження підземних виробок, як це відбувається на шахті „Пнювек“ (Польща) [9].

Виходячи з прибутку від 1 м³/хв метану, що утилізується при використанні різних технологій, перше місце займають когенераційні установки (міні-ТЕС) [10]. Однак, враховуючи експлуатаційні, питомі витрати та інвестиції, котрі при використанні міні-ТЕС у 5–8 разів більші, ніж при використанні котелень та факельних установок, ефективність когенераційних установок значно знижується [11]. Для вугільних шахт, певною мірою, раціонально спалювати метан навіть у факельних установках, адже при викиді 1 т метану в атмосферу екологічний збір складає в Україні 11,34 грн, а при спалюванні 1 т метану сума збору зменшується майже в 10 разів. Обумовлено це тим, що при згорянні метану кількість виділення оксидів азоту та оксиду вуглецю зменшується [12].

Розрахунок витрат на виплату стягнень за забруднення навколишнього природного середовища при викидах метану вугільних шахт у атмосферу проводиться наступним чином

$$S_{ек.зб.} = Q_2 \rho_2 N_{зб.},$$

де, $S_{ек.зб.}$ – сума екологічного збору за забруднення навколишнього середовища, грн; Q_2 – об'єм викидів метану вугільної шахти, м³; ρ_2 – густина шахтного метану, т/м³; $N_{зб.}$ – екологічний збір (норматив збору за викиди метану), грн/т.

При утилізації метану шляхом його спалювання витрати на виплату стягнень за забруднення навколишнього природного середовища розраховуються за формулою

$$S_{ек.зб.} = (Q_2 - Q_{ум.}) \rho_2 N_{зб.} + (m_{зр.} N_{зб.зр.}),$$

де, $Q_{ум.}$ – об'єм утилізованого шахтного метану, м³; $m_{зр.}$ – маса забруднюючих речовин (оксидів азоту та оксиду вуглецю), що утворюються при спалюванні метану, т; $N_{зб.зр.}$ – норматив збору за викиди забруднюючих речовин, що виділяються при спалюванні метану, грн/т.

Використання метану вугільних родовищ як палива суттєво знижує його шкідливий вплив на оточуюче природне середовище, оскільки при спалю-

ванні питома кількість забруднюючих речовин (кілограм на тону умовного палива) значно нижча, ніж в інших видів органічного палива. Експериментально доведено, що при спалюванні вугільного метану у факельних установках викидів СО₂ утворюється на 50% менше, ніж під час спалювання вугілля і на 25% менше, ніж під час спалювання важкого нафтового палива, а викидів пилу не утворюється взагалі [13].

Таким чином, можна стверджувати, що шахтний метан доцільно використовувати, коли на вугільних підприємствах уже існують вугільні котельні. Обумовлено це тим, що більшість розроблених технологій використання метану розрахована на шахтний газ із концентрацією більше 25% (міні-ТЕС, котельні, калорифери, екологічні факельні установки). Для досягнення потрібної концентрації, необхідної для утилізації метану, треба підвищувати ефективність роботи шахтних дегазаційних мереж.

Реалізація заходів по дегазації працюючих шахт значно зменшить кількість аварій на гірничих підприємствах, а впровадження проектів утилізації метану надасть фінансові вигоди.

Висновки. Таким чином, видобуток та утилізація метану вугільних родовищ в Україні може дати наступні результати:

- використання альтернативного ресурсу, який суттєво знизить залежність промислових підприємств та комунальних господарств від поставок природного газу;
- можливість передачі метану в газотранспортні мережі;
- підвищення безпеки і виробничої потужності шахт та покращення екологічної ситуації в регіоні за рахунок зменшення викидів парникового газу;
- використання метану для генерації електроенергії, тепла та заправок автотранспорту, переобладнання на стиснений природний газ.

Список літератури

1. Пучков Л.А., Сластун С.В. Решение проблем угольного метана: метанобезопасность, промышленная добыча газа, экология // Уголь. – 2005. – №1. – С. 5–7.
2. Закон України про ратифікацію Кіотського протоколу до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміни клімату // Відомості Верховної Ради України. – 2004. – №19. – С. 261.
3. Закон України про газ (метан) вугільних родовищ // Відомості Верховної Ради України. – 2009. – №40. – С. 578.
4. Савків Б.П. Підземне зберігання газу в Україні. – Київ, 2008. – 238 с.
5. Захаров Е.П., Герушин О.С. Метан угольных пластов в различных аспектах // Уголь Украины. – 1998. – №10. – С. 29–32.
6. Источники выбросов метана в Украине и особенности утилизации биогаза / Сигал И.Я., Гуревич Н.А., Хворов М.М., Домбровская Э.П. // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – №3. – С. 33–40.
7. Кочерга В.Н. Эффективность дегазации на шахтах Донбасса и пути повышения дебита каптируемого метана // Геолог України. – 2009. – №3. – С. 141–143.

8. Абакумова О.В., Єгоров І.М. Оцінка якості шахтного метану при вилученні підземною дегазаційною вугільною шахти // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 81. – С. 3–10.
9. Szlązak N., Tor A., Jakubów A., Gatnar K. Methane as a Source of Energy in an Air-Conditioning System in „Pniówek“ Coal Mine // International Mining Forum, 2004. – P. 83–98.
10. Стариков А.П., Снижко В.Д. Когенерационные установки на базе шахтного метана – надежный источник обеспечения электрической энергией и теплом предприятий МПО „Кузбасс“ // Уголь. – 2008. – №10. – С. 38–41.
11. Безпflug В.А., Касьянов В.В. Экономическая оценка различных технологий утилизации шахтного метана // Уголь Украины. – 2008. – январь. – С. 47–48.
12. Постанова Кабінету Міністрів України від 1 березня 1999 р. №303 „Про затвердження Порядку встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору“(Із змінами і доповненнями, внесеними постановами Кабінету Міністрів України від 3 грудня 2008 року) // http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ed_2008_12_03/KP990303.html.
13. Торопчин О.С., Федоров А.В. Научно-техническое обеспечение экологической безопасности при

разработке угольных месторождений // Чистый четверг. – 2006. – №2(10). – С. 34–40.

Выполнен анализ законодательной базы Украины относительно добычи и утилизации метана угольных месторождений. Проанализированы показатели извлечения и утилизации метана угольных месторождений в некоторых странах мира. Рассчитаны расходы на выплату взысканий за загрязнение окружающей природной среды при выбросах метана угледобывающих предприятий в атмосферу. Рассмотрены экологические и экономические аспекты утилизации метана. Приведены данные о перспективах утилизации шахтного метана.

Ключевые слова: метан угольных месторождений, утилизация, загрязнение окружающей природной среды

Legislative base of Ukraine concerning coal deposit methane recovery and utilization has been analyzed. The performance of extraction and utilization of methane from coal deposits in some countries has been analyzed. Costs of penalties for environment pollution by emissions of coal mine methane have been calculated. The ecological and economic aspects of utilization of methane have been considered. Recommendations regarding the future utilization of coal mine methane have been presented.

Keywords: coal deposit, methane, utilization, environment pollution

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Голіньком 14.06.10

УДК 622.413.3:536.24

© Шайхлисламова И.А., 2010

И.А. Шайхлисламова

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА

I.A. Shaykhlislamova

ON THE ISSUE OF CALCULATING OF COEFFICIENT OF NON-STATIONARY HEAT EXCHANGE

На основе теоретических исследований методов тепловых расчётов и анализа нестационарных термодинамических процессов в горных выработках, осложнённых действием различных источников и стоков тепла и влаги, изложено новое обоснование расчета коэффициента нестационарного теплообмена между горным массивом и вентиляционной струёй. Выявлено, что коэффициент нестационарного теплообмена не зависит от чисел Био > 5 и определяется только критерием Фурье.

Ключевые слова: горная выработка, коэффициент нестационарного теплообмена, критерий Фурье, тепловые расчёты

Для обеспечения допустимых тепловых условий в горных выработках на больших глубинах важно не только разрабатывать и внедрять новые воздухоохладительные установки, рациональные способы вскрытия угольных шахт и схемы их проветривания, но и совершенствовать существующие. Изыскивать новые методы тепловых расчётов и прогноза эффективности и экономичности от применения технических средств воздействия на окружающую среду. Теоре-

тические исследования в этом направлении проводятся на протяжении 60-ти лет и, как показывает анализ литературных источников, далеки до завершения. Это связано со сложными термодинамическими процессами, протекающими в горных выработках и установках по их охлаждению. Непрерывные изменения поля температур и влагосодержания в окружающем горном массиве с анизотропными свойствами вызывают нестационарные термодинамические про-