

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Білоножко Василь Вікторович

УДК 622.82:622.454.2

**ЗАПОБІГАННЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТІ СПРАЦЬОВУВАННЯ
ЗАСОБІВ ВИБУХОЗАХИСТУ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ШАХТ**

Спеціальність 05.26.01 – “Охорона праці”

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі аерології та охорони праці Національного гірничого університету (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
ГОЛІНЬКО Василь Іванович,
Національний гірничий університет
Міністерства освіти і науки України, (м. Дніпропетровськ)
завідувач кафедри аерології та охорони праці

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
БУЛГАКОВ Юрій Федорович,
Донецький національний технічний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри охорони праці та аерології;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
ГІНГОЛЬД Володимир Маркович,
Дніпропетровське відділення науково-дослідного
інституту гірничорятувальної справи і пожежної безпеки
Міністерства палива та енергетики України,
завідуючий лабораторією спектрофотометрії
і оптичних газоаналізаторів

Провідна установа - Макіївський науково-дослідний інститут з безпеки робіт у гірничій промисловості Міністерства палива та енергетики України, відділ рудникової аерології

Захист дисертації відбудеться "10" червня 2004р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Національному гірничому університеті Міністерства освіти і науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19

Автореферат розісланий "_7_" __травня__2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
А.А. Колб

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Складні гірничо-геологічні умови вугільних родовищ України обумовлюють наявність великої кількості небезпечних і шкідливих виробничих чинників, що призводять до високого рівня травматизму, профзахворювань і аварійності в галузі. Основними видами підземних аварій є пожежі, обвалення, вибухи метаноповітряних сумішей і вугільного пилу. Вибухи складають у середньому 4%, однак наслідки і збиток, обумовлений цими явищами, близькі до наслідків від найбільш розповсюджених видів аварій. Тільки за останні десятиліття в підземних виробках вугільних шахт України відбулося 38 вибухів газу і пилу і 78 випадків запалення метану.

Однією з можливих причин виникнення вибухів при аварійних загазуваннях виробок є неспрацьовування автоматичного газового захисту або сигналізації про наявність недопустимої концентрації метану, у тому числі через неоднозначність роботи засобів контролю метану. Неоднозначність спрацьовування засобів контролю метану може призвести до помилкового включення машин і механізмів при наявності вибухонебезпечної концентрації метану. Випадки неоднозначності спрацьовування автоматичного газового захисту спостерігаються при концентрації метану понад 5%. З огляду на це, нормативними документами була закладена норма стосовно однозначності спрацьовування газового захисту. Однак донині в існуючих засобах контролю ця вимога повною мірою не була виконана через недостатню вивченість причин виникнення явища неоднозначності і відсутності відповідних технічних рішень.

З огляду на вище викладене, дослідження, спрямовані на розробку методів і засобів запобігання неоднозначності спрацьовування засобів вибухозахисту гірничих виробок шахт, є досить актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертації виконані відповідно до Національної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці і виробничого середовища на 2001-2005 р. (постанова Кабінету Міністрів України №1320 від 10.10.2001 р.) відповідно до планів науково-дослідних робіт Національного гірничого університету за темою “Комплексний контроль вибухобезпечності гірничих виробок і запобігання неоднозначності спрацьовування засобів її забезпечення” (№ держреєстрації 0104U000771).

Мета і задачі досліджень.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності і достовірності контролю вибухонебезпечності гірничих виробок вугільних шахт, шляхом обґрунтування методів і розробки засобів контролю вибухонебезпечності, що забезпечують однозначність роботи сигналізації і захисту.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- виконати аналіз існуючих методів вимірювання вмісту метану, засобів і систем контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт;
- дослідити причини неоднозначної і нестабільної роботи існуючих засобів контролю вмісту метану і вплив неконтрольованих компонентів і параметрів рудникової атмосфери на їх роботу;
- обґрунтувати нові, більш досконалі методи контролю, що запобігають можливість неоднозначного вимірювання концентрації метану в гірничих виробках шахт;
- розробити засоби контролю вибухонебезпечності, що підвищують вірогідність і ефективність контролю та забезпечують однозначність роботи сигналізації і захисту;
- намітити перспективи удосконалювання засобів і систем контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт.

Об'єкт дослідження – вибухозахист гірничих виробок вугільних шахт.

Предмет досліджень - методи і засоби контролю вмісту метану в гірничих виробках шахт.

Методи дослідження. Для досягнення поставлених задач у роботі використані аналіз і узагальнення існуючих літературних джерел, відносно методів і засобів контролю вмісту метану в гірничих виробках шахт – при виборі й обґрунтуванні напрямків досліджень; фізичне моделювання та експериментальні дослідження в лабораторних і шахтних умовах термokatалітичних датчиків контролю метану - для встановлення причин неоднозначної і нестабільної роботи засобів контролю вибухонебезпечності, а також оцінки розроблених методів і засобів контролю; елементи класичної теорії газодинаміки, електротехніки і тепломасопереносу при обґрунтуванні запропонованих методів контролю метану.

Ідея роботи полягає в розкритті особливостей роботи термokatалітичних датчиків при високих концентраціях метану і їх тривалій експлуатації і розробці на цій основі методів і засобів контролю, що запобігають неоднозначності спрацьовування вибухозахисту гірничих виробок шахт.

Основні наукові положення і результати, їхня новизна.

Положення.

1. Неоднозначність спрацьовування засобів вибухозахисту гірничих виробок шахт при концентраціях метану понад 5 об. % виникає в результаті наявності різкого зменшення вихідного сигналу термokatалітичних датчиків (провалу вихідної характеристики) в області вибухових концентрацій метану, інверсії вихідного сигналу та гістерезису показань.

2. Провал вихідної характеристики термokatалітичних датчиків в області вибухових концентрацій метану виникає в результаті зриву термokatалітичної реакції окислювання метану на активному елементі. Він характерний для всіх термokatалітичних датчиків і виникає при рівноважному потоці кисню і метану до робочого елемента, коли на активній поверхні каталізатора спостерігається нульова концентрація метану і кисню (у діапазоні концентрацій від 8 до 9 об. %CH₄).

3. Зміщення нульових показань термokatалітичних аналізаторів метану при зміні параметрів середовища або джерела живлення та інверсія вихідної напруги термогрупи при високих концентраціях метану обумовлюється неідентичністю вольтамперних характеристик термоелементів серійних термогруп, підібраних за умови рівності напруги на елементах при номінальному режимі живлення.

4. Гістерезис показань характерний для всіх засобів контролю метану з термokatалітичними датчиками, його величина найбільш істотна при застосуванні термогруп, що характеризуються зниженою температурою початкового розігріву робочого елемента, що обумовлюється переходом каталітичної реакції окислювання метану з дифузійної в кінетичну область.

Наукові результати і їхня новизна.

1. Виявлено і досліджені фактори, що обумовлюють неоднозначність спрацьовування засобів вибухозахисту гірничих виробок шахт. Уперше виявлене і досліджене явище різкого зменшення вихідного сигналу термokatалітичних датчиків (провал вихідної характеристики) в області вибухових концентрацій метану.

2. Досліджено закономірності виникнення інверсії та гістерезису вихідного сигналу термokatалітичних датчиків. Установлено причини зниження чутливості термokatалітичних датчиків і нестабільності їх нульових показань у процесі тривалої експлуатації засобів контролю.

3. Запропоновано методи та розроблені засоби контролю концентрації метану, що забезпечують однозначність виміру в діапазоні 0 – 100 об.%, що відрізняються одночасним застосуванням двох, постійно включених вимірювальних схем, одна з яких працює на термokatалітичному принципі і призначена для виміру низьких концентрацій метану, а інша – термокондуктометричному принципі і призначена для виміру високих концентрацій метану або одного термokatалітичного датчика за умови, що в діапазоні довибухових концентрацій вимірювання здійснюється термokatалітичним методом, а в діапазоні концентрацій 6–100 об. % термокондуктометричним методом - за величиною напруги на порівняльному елементі при живленні вимірювального моста від джерела стабільного струму.

4. Обґрунтовано шляхи поліпшення експлуатаційних і метрологічних характеристик засобів контролю вмісту метану, за рахунок підвищення стабільності нульових показань, збільшення часової стабільності термокаталітичних датчиків, забезпечення ідентичності вольтамперних характеристик термоелементів поблизу робочої точки термогрупи шляхом включення шунтових резисторів паралельно термоелементу з більшою крутизною вольтамперної характеристики і зниження впливу забруднення газодифузійного фільтра та зміни каталітичної активності елементів шляхом уведення додаткового дифузійного опору зі стабільними параметрами.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи підтверджується: коректністю постановки і рішення задач; застосуванням сучасних методів теоретичного аналізу з урахуванням загальноприйнятих допущень; проведенням експериментальних досліджень з використанням апробованих методик, атестованого устаткування і засобів контролю; погодженістю результатів теоретичних і експериментальних досліджень; позитивними результатами використання розроблених методів і засобів контролю у виробках, що серійно виготовляються.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони використані при розробці технічних засобів контролю вмісту метану в гірничих виробках шахт, що забезпечують стабільну та однозначну роботу засобів вибухозахисту, у тому числі стаціонарних автоматичних газоаналізаторів з однозначними показаннями та переносних автоматичних сигналізаторів метану.

Розроблено методику балансування вимірювального моста з термокаталітичним датчиком, що дозволяє зменшити дрейф нуля мостової вимірювальної схеми при застосуванні серійно виготовлених термогруп і методика підбора елементів у термогрупи при масовому виробництві, що забезпечує підвищення якості термогруп.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на НВО “Червоний металіст” (м. Конотоп) при серійному виробництві термокаталітичних датчиків, стаціонарних автоматичних газоаналізаторів з однозначними показаннями АТ-3-1 і АТ-1-1, переносних автоматичних сигналізаторів метану типу “Сигнал-5” і метан-реле для забійних машин ТМРК-3.1М.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети і постановці задач досліджень, виконанні теоретичних і експериментальних досліджень термокаталітичних засобів контролю метану при високих його концентраціях, розробці методів та засобів запобігання їх неоднозначної роботи. Зміст дисертації викладений автором самостійно.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних конференціях “Форум гірників” (Дніпропетровськ, 2003), “Україна наукова 2003” (Дніпропетровськ, 2003), науково-технічних семінарах НВО “Червоний металіст” (м. Конотоп 1998, 2000, 2002 р.) і кафедри аерології та охорони праці Національного гірничого університету (м. Дніпропетровськ 2003, 2004 р.)

Публікації. За матеріалами досліджень опубліковано 12 наукових праць, у тому числі 4 статті у журналах і збірниках, що входять у перелік ВАК України, 6 патентів на винаходи, матеріали і тези доповіді на конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів і висновку. Вона містить 194 сторінки машинописного тексту, включаючи 63 рисунки, 18 таблиць, список використаних джерел з 87 найменувань і додатки на 27 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність досліджень, сформульовані мета і завдання досліджень, приведені основні наукові положення та результати, винесені на захист, а також відомості про практичне значення результатів роботи, їх апробацію і публікацію матеріалів дослідження.

У першому розділі виконано аналіз причин виникнення аварій і аварійних ситуацій на вугільних шахтах України, особливостей виникнення вибухонебезпечних умов у гірничих виробках вугільних шахт, методів, засобів і систем контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт.

Аналіз показав, що нині одною із основних причин, що призводять до виникнення аварій з тяжкими наслідками, на вуглевидобувних шахтах є вибухи газу, які значною мірою обумовлені незадовільним станом контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт. З високою ймовірністю загазування виробок шахт до вибухонебезпечної концентрації приводить до вибухів у випадках неспрацьовування автоматичного газового захисту або сигналізації про наявність неприпустимої концентрації метану.

Встановлено, що відмова засобів автоматичного газового контролю (АГК) або неспрацьовування сигналізації про наявність недопустимої концентрації метану, насамперед, обумовлюються недостатньою надійністю апаратури АГК або сигналізаторів, зміною чутливості термокаталітичних засобів контролю в процесі експлуатації, несанкціонованим втручанням у роботу засобів захисту, неоднозначністю спрацьовування засобів контролю метану і відсутністю засобів контролю у всіх потенційно небезпечних місцях.

Аналіз методів контролю вмісту метану показав, що найбільш розповсюдженим і признаним методом є термокаталітичний, на основі якого розроблена велика кількість різноманітних засобів АГК та сигналізаторів метану. Але незважаючи на значний прогрес в області створення засобів контролю метану донині питання однозначної надійної їх роботи повною мірою не вирішені. Одна з причин цього полягає в недостатній вивченості термокаталітичних засобів контролю метану при високих концентраціях метану та тривалій експлуатації.

За результатами аналізу сформульовані задачі дослідження, вирішення яких дозволяє досягти мети дисертації.

У другому розділі наведені результати дослідження однозначності визначення вмісту метану термокаталітичними датчиками.

Виконаний теоретичний аналіз роботи термокаталітичних датчиків, працюючих в режимі стабілізації струму через елементи, показав, що при концентрації метану в рудниковій атмосфері до 9,5 об.% вихідний сигнал мостової вимірювальної схеми з послідовним включенням чутливого і порівняльного елементів визначається як

$$U_{вих} = \frac{R_{\text{э0}} I_{\text{э}} \beta_{\text{э}} Q_{\text{мн}} \gamma_{\text{э}} C_{\text{мк}}}{2K}, \quad (1)$$

а при концентрації метану в діапазоні 9,5 - 100 об.% – залежністю виду

$$U_{вих} = 0,0525 \frac{R_{\text{э0}} I_{\text{э}} \beta_{\text{э}} Q_{\text{мн}} \gamma_{\text{э}}}{K} (1 - C_{\text{мк}}), \quad (2)$$

де $R_{\text{э0}}$ - опір елемента при 0 °С; $\beta_{\text{э}}$ - температурний коефіцієнт опору, 1/°С; $I_{\text{э}}$ - величина струму, що протікає через елементи, А; $\gamma_{\text{э}}$ - ефективна дифузійна провідність елемента, м³/с; $C_{\text{мк}}$ - концентрація метану в реакційній камері; $Q_{\text{мн}}$ - нижча теплота згорання метану, Дж/м³; K - теплова провідність елемента, Вт/°С.

Виходячи з наведених залежностей вихідний сигнал мостової вимірювальної схеми спочатку росте зі збільшенням вмісту метану, а потім зменшується до нуля. В такому випадку верхня границя діапазону вмісту метану, при якому однозначно повинна спрацьовувати газовий захист при нормованому значенні недопустимої $C = 1,3$ об.%, складає 90 об.%. Така норма стосовно однозначності спрацьовування газового захисту закладена в ГОСТ 24032-80.

Відомими експериментальними дослідженнями справедливність цього припущення в достатній мері не підтверджена. Більш того, наявні дані про залежність вихідної напруги термокаталітичних датчиків від концентрації метану $U_{вих} = f(C)$, показують, що в області високих концентрацій метану реальна залежність розташована нижче теоретичної кривої. Перевірка сигналізаторів і аналізаторів метану, що випускаються ВАТ "Червоний металіст", на

відповідність вимогам ГОСТ стосовно однозначності показань також показує, що більша частина технічних засобів не забезпечує однозначності спрацьовування захисту в області високих концентрацій метану.

Для в'яснення причин такої невідповідності виконані експериментальні дослідження роботи термокаталітичних датчиків при високих концентраціях метану. Дослідження здійснювалося на спеціальній експериментальній установці з синтезатором газових сумішей, який дозволяє плавно змінювати вміст метану в діапазоні концентрацій 0 - 100 об.%.

Для досліджень з різних партій було відібрано 30 серійних датчиків, що використовуються у стаціонарних аналізаторах метану, і 30 датчиків з сигналізаторів метану (діаметр платиного мікропроводу, відповідно, 30 і 20 мкм). Програмою досліджень передбачалося зняття залежності $U_{вих}=f(C)$, у діапазоні зміни концентрації метану від 0 до 100 об.% і від 100 до 0 об.%.

Аналіз результатів досліджень показав, що кожен датчик має свою залежність $U_{вих}=f(C)$, однак форма і характер цих залежностей повторюється. На рис. 1 приведені деякі типові залежності $U_{вих}=f(C)$. Вони підібрані з врахуванням напрямку і величини зміщення вихідної напруги вимірювального моста при концентрації метану 100 об.% та величини гістерезису показань при переході від зростання до спаду концентрації метану.

Для більшості датчиків (до 60%) характерною є інверсія вихідного сигналу при 100 об.% CH_4 (рис.1а), до 30% датчиків характеризуються суттєвим зміщенням вихідного сигналу при 100 об.% CH_4 в область позитивних значень (рис.1б), а решта із них характеризується незначним зміщенням вихідного сигналу при 100 об.% CH_4 . Для 80% датчиків характерний незначний гістерезис вихідного сигналу (рис.1а), але біля 20% датчиків характеризуються значним гістерезисом, причому серед них є як датчики, що характеризуються зміщенням вихідного сигналу при 100 об.% CH_4 в область позитивних значень (рис.1б), так і датчики з інверсією вихідного сигналу (рис.1в). Вид спадної залежності $U_{вих}=f(C)$ в області високих концентрацій метану для основного числа досліджених термогруп близький до лінійного. Однак у термогруп з значним гістерезисом в області концентрацій метану від 60 до 80 об.% спостерігається істотне збільшення крутості характеристики з наступним її вирівнюванням.

Результати досліджень показують, що в області високих концентрацій метану (від 10 до 100 об.%) тільки для 30% засобів контролю метану, у яких використовуються термогрупи, які характеризуються істотним зміщенням вихідного сигналу в область позитивних значень при $C=100$ об.%, забезпечується однозначність спрацьовування захисту в області високих концентрацій метану при випробуваннях відповідно до ГОСТ. 60% засобів контролю метану, у яких використовуються термогрупи з інверсією вихідного сигналу при $C=100$ об.%, однозначність спрацьовування захисту при високих концентраціях метану не забезпечують. Для інших 10% засобів, що характеризуються незначним зміщенням вихідного сигналу при 100 об.% CH_4 , однозначність спрацьовування захисту буде нестабільною і залежить від умов експлуатації і можливих змін характеристик робочого і компенсаційного елементів при експлуатації.

Рис.1. Характерні залежності $U_{вих}=f(C)$: ♦ - зміна концентрації метану від 0 до 100 об.%; ● - зміна концентрації метану від 100 до 0 об.%

В області концентрацій від 0 до 10 об.%, незважаючи на деякі розходження, залежність $U_{вих}=f(C)$ для всіх досліджених термогруп характеризується наявністю різкого зменшення вихідного сигналу (провал вихідної характеристики) в області вибухових концентрацій метану, при переході величини концентрації метану з 8 об.% до 9 об.%. Це явище не було встановлено раніше при дослідженні термокаталітичних датчиків іншими дослідниками і виявлене нами вперше. Провал у характеристиці $U_{вих}=f(C)$ в області вибухонебезпечних концентрацій обумовлює неоднозначність показань, сигналізації і захисного відключення, що становить значну небезпеку, тому, що в цьому випадку можливе включення устаткування дільниці, що захищається, чи проведення заборонених за газовим фактором робіт при конт-

ролі вмісту метану стаціонарними або переносними датчиками. Це може привести до катастрофічних наслідків. Імовірність виникнення таких наслідків зростає при пульсуючому газовиділенні.

Для виявлення причин зміщення вихідного сигналу датчиків при 100 об.% CH_4 , виникнення гістерезису та провалу вихідної характеристики в області вибухових концентрацій метану теоретично проаналізовано процеси теплообміну термоелементів в повітрі і метані та експериментальні дослідження характеристик термоелементів та протікання процесу каталізу в залежності від умов роботи та параметрів джерела живлення.

З врахуванням наявних шляхів відведення тепла від термоелемента датчика отримані рівняння теплового балансу елементів при їх знаходженні в повітрі і метані. В першому випадку воно має вид

$$U_3 I_3 = \lambda_{60} \left(\frac{((U_3 - R_{30} I_3) / I_3 \beta_3 R_{30}) + t_2 + 546}{546} \right)^{0,82} F_3 ((U_3 - R_{30} I_3) / I_3 \beta_3 R_{30}) - t_2 + \varepsilon_3 C_0 F_3 10^{-8} ((U_3 - R_{30} I_3) / I_3 \beta_3 R_{30})^4 - (t_2 + 273)^4 + 1,1\pi d_m ((U_3 - R_{30} I_3) / I_3 \beta_3 R_{30}) - t_2, \quad (3)$$

де U_3 – напруга на елементі, В; λ_{60} – теплопровідність повітря при 0°C , Вт/(м К); t_2 – температура повітря, $^\circ\text{C}$; F_3 – площа поверхні елемента, м^2 ; ε_3 – коефіцієнт чорноти елемента; C_0 – постійна Стефана-Больцмана, Вт/($\text{м}^2 \text{К}^4$); d_m – діаметр проводу, м.

Виходячи з рівнянь теплового балансу отримані вольтамперні характеристики термоелементу без катализатора (білого) і після його нанесення на поверхню елемента (чорного) в повітрі і метані. Виявлено, що при однакових параметрах термоелементів вольтамперна характеристика чорного елемента, за рахунок більш інтенсивного радіаційного теплообміну, як у повітрі так і в метані помітно зміщується вниз, починаючи з величини струму 120 мА. У повітрі, при номінальному струмі живлення термоелементів біля 185 мА, це зміщення складає близько 50 мВ, а в метані – до 35 мВ. Зближення вольтамперних характеристик елементів у метані (при одній і тій же величині струму) обумовлено зменшенням частки радіаційного теплообміну елементів у середовищі з більшим коефіцієнтом теплопровідності, через зниження температури їх розігріву.

Відмінність вольтамперних характеристик білого і чорного термоелементів заздалегідь визначає те, що при підборі термогруп виходячи з рівності величини напруги на елементах у номінальному режимі, білий і чорний елемент відрізняються якимось конструктивним параметром, наприклад площею поверхні. На рис. 2. приведені вольтамперні характеристики білого і чорного елемента з меншою площею поверхні (на 3%), підібрані таким чином, щоб вони перетиналися в повітрі при $U_3=0,95$ В (рис.2а), та характеристики тих же елементів у метані (рис.2б).

Рис. 2. Вольтамперні характеристики білого (1) і чорного (2) елементів в зоні близькій до номінальних режимів роботи

Аналіз характеру зміщення кривих в метані показав, що при живленні вимірювального моста від джерела стабільної напруги спостерігається інверсія вихідного сигналу, при живленні від джерела стабільного струму - зміщення в область позитивних значень, а при живленні від джерела стабільної потужності зміщення не буде. Зважаючи на те, що в аналізаторах і сигналізаторах метану живлення вимірювального моста здійснюється, як правило, стабільною напругою, інверсія вихідного сигналу є типовою для цих технічних засобів.

Для виявлення причин наявності значного гістерезису показань та нелінійності спадаючої частини характеристики при високих концентраціях метану виконані розрахунки режимів роботи елементів та експериментальні дослідження датчиків, для яких характерні зазначені явища, при різних параметрах живлення. В результаті встановлено, що ці датчики характеризуються зниженою температурою початкового розігріву робочого елемента, а це,

при високих концентраціях метану, обумовлює перехід каталітичної реакції окислювання з дифузійної в кінетичну область. Підвищення напруги живлення таких датчиків практично усуває гістерезис та нелінійність спадаючої частини характеристики.

Для з'ясування причин і особливостей прояву виявленого явища провалу вихідної характеристики в області вибухових концентрацій, встановлення його універсальності були проведені експериментальні дослідження роботи термокаталітичних датчиків в області провалу. Дослідження показали, що провал вихідної характеристики термокаталітичних датчиків в області вибухових концентрацій виникає в результаті порушення термокаталітичної реакції окислювання метану на активному елементі і що це явище характерне для всіх термокаталітичних датчиків. Воно спостерігається при рівноважному потоці кисню і метану до робочого елемента, коли на активній поверхні каталізатора утвориться нульова концентрація метану і кисню, при концентрації метану

$$C_m = 0,105D_k / (D_m + 0,105D_k), \quad (4)$$

де D_m, D_k - відповідно, коефіцієнт молекулярної дифузії метану та кисню в повітрі, m^2/c ;

Порушення реакції носить нестійкий характер і чітко спостерігається в динамічному режимі при використанні синтезатора газових сумішей, який забезпечує повільну безперервну зміну концентрації метану в суміші.

У процесі тривалої експлуатації засобів контролю спостерігається зниження чутливості датчиків метану і зміщення нуля вимірювального моста в область позитивних значень. Для з'ясування причин цих змін були проведені дослідження стабільності термокаталітичних датчиків в часі шляхом спостереження за зміною їх характеристик після тривалої роботи в шахтних умовах. Дослідження показали, що основною причиною зниження чутливості датчиків є зменшення дифузійної провідності металокерамічного фільтра, а нестабільність нульових показань значною мірою обумовлена збільшенням коефіцієнта чорноти поверхні порівняльного термоелемента за рахунок насичення його поверхні продуктами термічної деструкції вуглеводнів. Початкові параметри датчика можуть бути практично відновлені шляхом його розбирання, очищення фільтра і прожарювання порівняльного термоелемента, однак у виробничих умовах таке відновлення важко здійснити і воно може призвести до ушкодження датчиків.

Третій розділ присвячений розробці методів та засобів, що забезпечують однозначність вимірювання вмісту метану.

Важливе значення для забезпечення однозначності роботи аналізаторів має стабільність нуля мостової вимірювальної схеми з термокаталітичним датчиком. Аналіз вольтамперних характеристик термоелементів показав, що стабільність нуля аналізаторів можна підвищити шляхом забезпечення ідентичності цих характеристик поблизу робочої точки термогрупи. При застосуванні серійних датчиків це можливо здійснювати шляхом включення шунтових резисторів паралельно термоелементу з більшою крутістю характеристики.

Звичайно встановлення нуля вимірювального моста здійснюється зміною потенціалу середньої точки баластного плеча моста, що еквівалентно зміщенню характеристики елемента на таку ж величину (крива 3, рис.3). Зміна параметрів середовища або джерела живлення спричиняє в такому випадку значне зміщення нуля. При включенні паралельно елементу з більшою крутістю характеристики шунтового резистора характеристика з'єднання зміщується вниз (крива 4, рис.3). При певній величині опору шунта характеристики елементів перетинаються в робочій точці ($I=180$ mA) без зміщення потенціалу середньої точки баластного плеча моста. У цьому разі крутизна характеристик елементів в робочій точці значно зближується, (криві 2 і 4, рис.3) що практично на порядок зменшує зміщення нуля моста при зміні параметрів середовища або джерела живлення. Причому міняється не тільки величина, але і напрямок зміщення нуля.

На підставі виконаних досліджень запропонована оригінальна схема включення датчика (патент 62861А) та розроблена методика балансування вимірювального моста

з термокаталітичним датчиком, що дозволяє на порядок зменшити зміщення нуля мостової вимірювальної схеми при застосуванні серійно виготовлених термогруп.

Рис. 3. Вольтамперні характеристики елементів: 1,2 – порівняльного і робочого до балансування; 3 - робочого при зміщенні на 245 мВ; 4 - порівняльного з шунтом $R_{ш} = 40$ Ом; 5 - шунта.

Запобігти зміщенню нуля в процесі експлуатації можна коли порівняльний елемент датчика буде мати коефіцієнт чорноти близький за величиною значенню відповідного коефіцієнта після тривалої експлуатації в шахтних умовах. У цьому випадку насичення поверхні порівняльного елемента продуктами термічної деструкції вуглеводнів не призводить до зміни його теплових характеристик. Для чорніння запропоновано використовувати сульфід срібла та розроблена технологія цього процесу (патент 62857А). Це дозволяє не тільки усунути зміщення вольтамперної характеристики порівняльного елемента в процесі експлуатації, але і вирівняти питому вагу різних механізмів теплообміну для термоелементів і забезпечити ідентичність їх характеристик. Запропонована нова методика підбору елементів у термогрупи при масовому виробництві, що забезпечує підвищення якості датчиків.

Для зменшення впливу зміни дифузійної провідності металокерамічного фільтра на роботу газоаналізаторів запропонований спосіб вимірювання метану та пристрій для його реалізації сутність якого полягає у введенні додаткового газодифузійного опору зі стабільними параметрами (патент 61224А). Згідно цього способу термоелементи розміщені у додатковій камері, виконаній у виді газонепроникного стакану з отвором у стінці (рис. 4). При наявності додаткового фільтра потік метану Q_m до термоелементу визначається як

$$Q_m = C_{ма} \gamma_{\varepsilon} \gamma_{\phi} \gamma_{отв} / (\gamma_{\phi} \gamma_{\varepsilon} + \gamma_{\varepsilon} \gamma_{отв} + \gamma_{\phi} \gamma_{отв}), \quad (5)$$

де $\gamma_{\phi}, \gamma_{отв}$ – відповідно, дифузійна провідність фільтрелемента та отвору, м³/с.

При виконанні умови $\gamma_{отв} \ll \gamma_{\phi}$ і $\gamma_{отв} \ll \gamma_{\varepsilon}$ потік метану, що окислюється на робочому елементі, практично визначається дифузійним опором отвору і не залежить від зміни параметрів фільтра в процесі експлуатації та ефективної дифузійної провідності термоелемента.

Рис. 4. Конструкція датчика з додатковим газодифузійним фільтром: 1 – корпус виробу; 2 – амортизатор; 3 - втулка; 4 – датчик в зборі; 5 – касета; 6 – фільтрелемент; 7 – порожнина.

Експериментальна перевірка запропонованих способу та пристрою дозволили установити, що для вимірювання вмісту метану в діапазоні концентрацій від 0 до 7 об.% оптимальним є наступне співвідношення провідності:

$$Y_{\varepsilon} = (3 - 6) Y_{отв}.$$

Введення додаткового фільтра якісно змінює характер залежності вихідної напруги датчика від величини струму: зміщає максимум характеристики в область менших значень струмів і призводить до того, що в значному діапазоні струмів вихідна напруга залишається практично постійною (плато характеристики). Для забезпечення однозначності вимірювання концентрації метану в діапазоні 0 – 100 об.% запропоновані нові технічні рішення які полягають у застосуванні двох, постійно включених вимірювальних схем, одна з яких працює на термокаталітичному принципі і призначена для виміру низьких концентрацій метану, а інша – термокондуктометричному принципі і призначена для виміру високих концентрацій метану (патент 61611А), а також застосуванні одного термокаталітичного датчика за умови, що в діапазоні довибухових концентрацій вимірювання здійснюється термокаталітичним методом, а в діапазоні концентрацій 6–100 об.% термокондуктометричним методом - за величиною напруги на порівняльному елементі при живленні вимірювального моста від джерела стабільного струму.

Четвертий розділ присвячений практичній реалізації результатів досліджень та пошуку перспективних напрямків подальшого удосконалення засобів контролю метану.

Результати досліджень дозволили розробити нові термокаталітичні датчики для однозначних сигналізаторів і аналізаторів метану (рис. 5). Для них характерні:

- дифузійна подача метаноповітряної суміші в реакційну камеру, із проміжного об'єму, утвореного внутрішньою поверхнею фільтреелемента і газонепроникним стаканом з отвором у стінці, усередині якого розміщені чутливі елементи датчика;
- попереднє чорніння порівняльного елемента сульфідом срібла;
- термічне балансування термоелементів датчиків.

Рис. 5. Загальний вигляд датчиків: а – для розміщення в корпусі виробу; б – з метало-керамічним фільтреелементом.

З використанням розроблених датчиків та запропонованих технічних рішень стосовно забезпечення однозначності роботи сигналізаторів та аналізаторів метану здійснена модернізація технічних засобів контролю метану, що випускаються НВО “Червоний металіст” (рис.6).

Рис. 6. Технічні засоби контролю метану з однозначністю показань та спрацювання захисту: а - аналізатор метану АТ-1.1; б - метан-реле для забійних машин ТМРК-3.1М

Проведені лабораторні та експериментальні дослідження засобів контролю вмісту метану показали їхню високу надійність та працездатність і підтвердили правильність теоретичних висновків.

ВИСНОВОК

У дисертаційній роботі, що є завершеною науково-дослідною роботою, дане рішення актуальної науково-технічної задачі підвищення рівня вибухозахисту гірничих виробок шахт, що полягає в у виявленні і дослідженні явища зриву термокаталітичної реакції окислювання метану в області його вибухових концентрацій, установленні закономірностей виникнення інверсії і гістерезису вихідного сигналу термокаталітичних датчиків при високих концентраціях метану, розробці методів і засобів контролю метану, що запобігають неоднозначність спрацьовування засобів вибухозахисту.

Найбільш важливі наукові і прикладні результати, висновки і рекомендації полягають у наступному:

1. Установлено, що однією з основних причин, яка обумовлює те, що загазування виробок шахт до вибухонебезпечної концентрації призводить до вибухів, є неспрацьовування автоматичного газового захисту або сигналізації про наявність неприпустимої концентрації метану, у тім числі через неоднозначність роботи засобів контролю вибухонебезпечності при високих концентраціях метану.

2. Шляхом дослідження особливостей роботи термокаталітичних датчиків при високих концентраціях метану і впливу неконтрольованих компонентів і параметрів рудникової атмосфери на їх роботу виявлені і пояснені причини неоднозначної і нестабільної роботи існуючих засобів контролю вмісту метану, у тому числі:

- установлено, що неоднозначність спрацьовування засобів вибухозахисту гірничих виробок шахт при концентраціях метану понад 5 об.% виникає в результаті наявності різкого зменшення вихідного сигналу термокаталітичних датчиків (провалу вихідної характеристики) в області вибухових концентрацій метану, інверсії вихідного сигналу і гістерезису показань;

- з'ясовано, що провал вихідної характеристики термокаталітичних датчиків в області вибухових концентрацій виникає в результаті порушення термокаталітичної реакції окислю-

вання метану на активному елементі і що це явище, характерне для всіх термокаталітичних датчиків, спостерігається при рівноважному потоці кисню і метану до робочого елемента, коли на активній поверхні каталізатора утвориться нульова концентрація метану і кисню (у діапазоні від 8 до 9 об.% CH_4);

- встановлено, що зсув нульових показань засобів контролю метану при зміні параметрів середовища або джерела живлення та інверсія вихідної напруги вимірювального моста з термокаталітичними датчиками при високих концентраціях метану, обумовлені неідентичністю вольтамперних характеристик термоелементів серійних термогруп, підібраних за умови рівності напруги на елементах при номінальному режимі живлення;

- виявлено, що гістерезис показань характерний для всіх засобів контролю метану з термокаталітичними датчиками, його величина найбільш істотна при застосуванні термогруп, які характеризуються зниженою температурою початкового розігріву робочого елемента, що обумовлюється переходом каталітичної реакції окислювання метану з дифузійної в кінетичну область.

3. Теоретично й експериментально обґрунтовані шляхи поліпшення експлуатаційних і метрологічних характеристик засобів контролю вмісту метану, у тому числі:

- підвищення стабільності нульових показань засобів контролю вмісту метану за рахунок забезпечення ідентичності вольтамперних характеристик термоелементів поблизу робочої точки термогрупи при включенні шунтових резисторів паралельно термоелементу з більшою крутістю вольтамперної характеристики;

- збільшення часової стабільності термокаталітичних датчиків шляхом чорніння порівняльного елемента сульфідом срібла;

- зниження впливу забруднення газодифузійного фільтра та зміни каталітичної активності елементів шляхом уведення додаткового дифузійного опору зі стабільними параметрами.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень:

- розроблена методика балансування вимірювального моста з термокаталітичним датчиком, що дозволяє зменшити зміщення нуля мостової вимірювальної схеми при застосуванні серійно виготовлених термогруп;

- запропонована методика підбора термоелементів при масовому виробництві, що забезпечує підвищення якості термогруп;

- обґрунтовані нові способи та розроблені засоби контролю вмісту метану в шахтній атмосфері, що забезпечують однозначний контроль у діапазоні від 0 до 100 об.% та можливість застосування існуючих каналів зв'язку і пристроїв представлення інформації на поверхні шахти;

- розроблені, виготовлені і впроваджені у виробництво та у виробі термокаталітичні датчики для однозначних аналізаторів і сигналізаторів метану.

Упровадження нових технічних рішень у сигналізатори та аналізатори метану дозволило підвищити рівень вибухозахисту гірничих виробок шахт і розширити область застосування засобів контролю метану.

Основні положення і результати дисертації опубліковані у роботах:

1. Белоножко В.В., Белоножко В.П., Голинько В.И. Экспериментальные исследования термокаталитических датчиков метана для оценки их однозначности / Гірничая електромеханіка та автоматика: Наук. техн. зб. – 2001. – Вип. 67. – С. 122 – 130.

2. Голинько В.И., Белоножко В.В. Совершенствование термокаталитических средств контроля содержания метана / Гірничая електромеханіка та автоматика: Наук. техн. зб. – 2003. – Вип. 70. – С. 92 – 100.

3. Голинько В.И., Белоножко В.В. Исследование процесса окисления метана в термокаталитических датчиках / Науковий вісник НГУ, - Дніпропетровськ, 2003 - №7, с. 62-65.

4. Белоножко В.В. Исследование временной стабильности термокаталитических датчиков метана / Науковий вісник НГУ, - Дніпропетровськ, 2003 - №11, с. 76-79.

5. Патент України 61224А, МК G01N25/22. Спосіб вимірювання вмісту горючих газів в шахтній атмосфері та пристрій для його реалізації / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько та ін. // Оpubл. 17.11.03. Бюл. №11.

6. Патент України 61611А, МК G01N25/22, E21F17/18. Система контролю вмісту горючого газу в шахтній атмосфері / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько та ін. // Оpubл. 17.11.03. Бюл. №11.

7. Патент України 13933А, МК G01N27/18. Термокондуктометричний датчик / Бойко В.О., Фрундін В.Ю., Ісаєв В.В., Білоножко В.В. та ін. // Оpubл. 25.04.97. Бюл. №2.

8. Патент України 61611А, МК G01N25/22. Спосіб термокatalітичного аналізу горючих газів та пристрій для його здійснення / Бойко В.О., Грядущий Б.А., Фрундін В.Ю., Білоножко В.В. та ін. // Оpubл. 31.10.97. Бюл. №5.

9. Патент України 62861А, МК G01N27/18. Схема включення термокatalітичного датчика і спосіб її балансування / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько та ін. // Оpubл. 15.12.03. Бюл. №12.

10. Патент України 62857 А, МК G01N27/18. Датчик шахтних газоаналізаторів і спосіб його виготовлення / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько та ін. // Оpubл. 15.12.03. Бюл. №12.

11. Голинько В.И., Белоножко В.В. Совершенствование термокatalитического способа измерения содержания метана и конструкции первичных преобразователей // Сб. науч. тр. НГУ. Тр. межн. науч.-техн. конф. “Форум гірників” – 2003. – №17, том 2. – С. 325-331.

12. Белоножко В.В. Совершенствование средств контроля метана // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Україна наукова 2003”, Том 27. Гірнична справа. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2003.- С. 4- 5.

Особистий внесок дисертанта в роботах, опублікованих у співавторстві полягає в постановці і проведенні експериментальних досліджень термокatalітичних датчиків і обробці їх результатів [1], обґрунтуванні методу термічного балансування елементів [2], дослідженні процесу окислювання метану в термокatalітичних датчиках і обробці результатів спостережень [3], обґрунтуванні методу контролю і датчика з додатковим дифузійним опором та проведенні його експериментальних досліджень [11] та розробці ознак винаходів [5 - 10].

АНОТАЦІЯ

Білоножко В.В. Запобігання неоднозначності спрацьовування засобів вибухозахисту гірничих виробок шахт. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 - “Охорона праці” – Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2004.

В дисертації виконано аналіз існуючих методів вимірювання вмісту метану, засобів і систем контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт. Досліджені причини неоднозначної і нестабільної роботи існуючих засобів контролю вмісту метану і вплив неконтрольованих компонентів і параметрів рудникової атмосфери на їх роботу. Обґрунтувати нові, більш досконалі методи контролю, що усувають можливість неоднозначного вимірювання концентрації метану в гірничих виробках шахт та розроблені засоби контролю вибухонебезпечності, що підвищують вірогідність і ефективність контролю та забезпечують однозначність роботи сигналізації і захисту. Намічені перспективи удосконалення засобів і систем контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт.

Результати роботи впроваджені на НВО “Червоний металіст” при розробці датчиків для однозначних сигналізаторів та аналізаторів метану, що дозволило підвищити рівень вибухозахисту гірничих виробок шахт і розширити область застосування засобів контролю метану.

Ключові слова: вибухонебезпека, гірничі виробки, шахта, метан, датчик, рудникова атмосфера, контроль, вибухозахист.

АННОТАЦИЯ

Белоножко В.В. Предотвращение неоднозначности срабатывания средств взрывозащиты горных выработок шахт. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 - “Охрана труда” - Национальный горный университет, Днепропетровск, 2004.

В диссертационной работе осуществлено решение актуальной научно-практической задачи повышения уровня взрывозащиты горных выработок шахт, путем обеспечения однозначной работы технических средств контроля содержания метана при высоких его концентрациях.

Исследованы особенности работы термокatalитических датчиков при высоких концентрациях метана и влияние неконтролируемых компонентов и параметров рудничной атмосферы на их работу. Выявлены и объяснены причины неоднозначной и нестабильной работы существующих средств контроля метана. Установлено, что неоднозначность срабатывания средств взрывозащиты горных выработок шахт при концентрациях метана свыше 5 об.% возникает в результате наличия резкого уменьшения выходного сигнала термокatalитических датчиков (провала выходной характеристики) в области взрывных концентраций метана, инверсии выходного сигнала и гистерезиса показаний. Показано, что провал выходной характеристики термокatalитических датчиков в области взрывных концентраций возникает в результате нарушения термокatalитической реакции окисления метана на активном элементе и что это явление, характерное для всех термокatalитических датчиков, наблюдается при равновесном потоке кислорода и метана к рабочему элементу, когда на активной поверхности катализатора образуется нулевая концентрация метана и кислорода (в диапазоне от 8 до 9 об.% CH_4). Установлено, что смещение нулевых показаний средств контроля метана при изменении параметров среды или источника питания и инверсия выходного напряжения термогрупп при больших концентрациях метана, обусловлены неидентичностью вольтамперных характеристик термоэлементов серийных термогрупп, подобранных из условия равенства напряжения на элементах при номинальном режиме питания. Выявлено, что гистерезис показаний характерен для всех средств контроля метана с термокatalитическими датчиками, его величина наиболее существенна при применении термогрупп, характеризующихся пониженной температурой первоначального разогрева рабочего элемента, что обуславливается переходом кatalитической реакции окисления метана с диффузионной в кинетическую область.

Теоретически и экспериментально обоснованы пути улучшения эксплуатационных и метрологических характеристик средств контроля содержания метана путем повышения стабильности нулевых показаний средств контроля содержания метана, увеличения временной стабильности термокatalитических датчиков, снижения влияния загрязнения газодиффузионного фильтра и изменения кatalитической активности элементов.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны способы и средства измерения содержания метана в шахтной атмосфере, позволяющие улучшить эксплуатационные и метрологические характеристики средств контроля и обеспечивающие однозначность срабатывания защиты при высоких концентрациях метана.

Результаты работы внедрены на НПО “Червоный металлист” при разработке датчиков для однозначных сигнализаторов и анализаторов метана, что позволило повысить уровень взрывозащиты горных выработок шахт и расширить область применения средств контроля метана.

Ключевые слова: взрывоопасность, горные выработки, шахта, метан, датчик, рудничная атмосфера, контроль, взрывозащита.

ABSTRACT

Bilonozhko V.V. Prevention the ambiguity operation of the explosion protection devices of mines workings. – Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.26.01 - “Labour protection” - National mining university, Dnipropetrovsk, 2004.

In thesis was made the analysis of existing methods of methane content measurement, of devices and control systems of explosive mine workings. The reasons of ambiguous unstable operation of existing methane content control devices and the influence of uncontrolled components and mine atmosphere parameters on their operation are researched. New and more improved methods of control, which prevent the possibility of ambiguous change of methane concentration in mine workings, are based on facts. The explosion-proof control devices, which increase the control probability and efficiency and provide the ambiguity operation of alarm and protection devices, are developed. The prospects of improving the devices and control systems of mine working explosion-proof are fixed.

The results of work were applied at NVO “Chervony metalist” during the development of transducers for unambiguous methane indicators and detectors, that allowed to increase the level of explosion protection of mine workings and to widen the field of application of methane control devices.

Key words: explosion-proof, mine workings, mine, methane, transducer, control, explosion protection.

БІЛОНОЖКО Василь Вікторович

ЗАПОБІГАННЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТІ СПРАЦЬОВУВАННЯ
ЗАСОБІВ ВИБУХОЗАХИСТУ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ШАХТ

(Автореферат)

Підписано до друку 21.04. 2004. Формат 60x90/16. Папір
офсетний. Умовн. друк. арк. 1,0. Обліково-видавн. арк. 1,0.
Тираж 120 екз. Замовлення № . Замовлене.

Видавництво "Наука і освіта"
49000, м. Дніпропетровськ, вул. Столярова 8/212.