

УДК 622.8

ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА ПОЛУМ'Я

О. Лепіхов М. Котлубаєв, І. Бурик

*Конотопський інститут Сумського державного університету,
вул. Миру, 24, 41615 м. Конотоп, Сумська область, Україна
byruk1982@mail.ru*

Основними напрямками у ході розробки датчика полум'я нового покоління обрано такі: застосування двопровідної лінії для підключення датчика полум'я до контролера; передавання інформації про спрацювання датчика струмовими імпульсами по лінії живлення; контроль запилення вікна і перевірка справності датчика. Датчик здатний забезпечувати надійну реєстрацію спалахів та спроможний визначати ступінь їхнього розвитку (швидкість поширення).

Ключові слова: вибух, полум'я, метан, датчик, спектр, фотоприймач.

Забезпечити надійну вибухобезпеку персоналу шахт по всій мережі гірських виробок можна шляхом гасіння спалахів метану безпосередньо в зоні вогнищ. Сьогодні в Україні застосовують автоматичну систему локалізації вибухів (СЛВА) [1].

Система СЛВА призначена для придушення вибухів метану і вугільного пилу на початковій стадії їхнього виникнення в гірських виробках вугільних шахт подачею полум'япридушувальної речовини в зону вогнища займання. Вона складається з пристрою придушення вибуху, датчика полум'я і блока сполучення з пускатчем. Встановлюють систему в місцях найбільш вірогідного виникнення вибухів. Контроль працездатності датчика полум'я і пристроїв придушення вибуху відбувається за допомогою місцевої індикації.

З накопиченням досвіду експлуатації та ремонту системи СЛВА почали виявляти недоліки детектора: можливість помилкових спрацювань у разі неправильного підключення або замикання жил кабелю; використання застарілого типу операційних підсилювачів не дає змоги забезпечити необхідну чутливість інфрачервоного каналу; відсутність контролю запиленості вікна фотоприймача.

Для вибору приймача випромінювання датчика полум'я проаналізовано спектри полум'я вибухів метану і вугільного пилу, шахтних джерел освітлення, а також міру поглинання випромінювання вугільного й інертного пилу. Дослідження виконували фотографічним методом за допомогою спектрографа типу КС-55 зі змінною скляно-кварцовою оптикою в лабораторних умовах.

Лабораторні випробування проводили в декілька серій. У кожній серії дослідів концентрацію метану в суміші з повітрям витримували сталою і для різних серій змінювали від 5,5 до 16,0 %. Оскільки в шахті, окрім вибухів метану, можливе і горіння

його шарових скупчень, то проведено досліди з вивчення спектрів випромінювання полум'я горіння метану концентрацією понад 16 %.

Під час розробки випробувального устаткування проаналізовано різні типи пальників для спалювання природного газу (пальник Бунзена, пальник Теклу і пальник Мекера). Огляд проводили з погляду отримання полум'я достатньої площі й приблизно рівномірного розподілу температури по висоті полум'я. Виконаний аналіз дав змогу виявити, що найпридатнішим є пальник Мекера, оскільки він має одну температурну зону по висоті з температурою від 1 775 °С на початку і спадає по висоті до 1 640 °С. Його й узяти за основу конструкції випробувального устаткування (рис. 1).

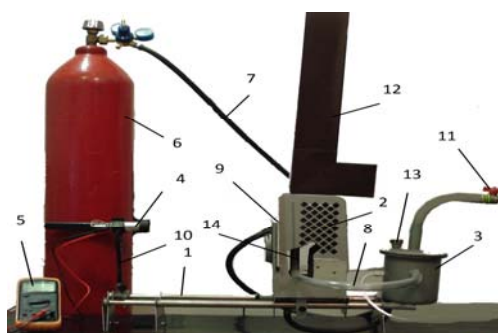


Рис. 1. Компонування стану:

- 1 – станина; 2 – камера згорання; 3 – змішувач; 4 – порожнинний приймач ПП-1;
5 – мультиметр; 6 – газовий балон з редуктором; 7 – гнучкий шланг; 8 – шланг ПВХ;
9 – захисний екран; 10 – штатив; 11 – кран подачі повітря; 12 – труба вихлопна; 13 – штуцер завантажувальний; 14 – газовий пальник.

Аналіз спектрів випромінювання вибухів (горіння) метано-повітряної суміші різної концентрації засвідчив, що короткохвильова межа випромінювання доведена на довжину хвилі 0,29 мкм. В ультрафіолетовій і фіолетовій ділянках є два яскраво виражені максимуми: перший – на довжину хвилі 0,31 мкм, а другий – на 0,43 мкм. В інфрачерво-ній ділянці простежено значне збільшення інтенсивності випромінювання полум'я вибуху порівняно з випромінюванням у короткохвильовій ділянці. Довжина хвилі, на яку доводять цей максимум, становить 3–5 мкм (рис. 2).

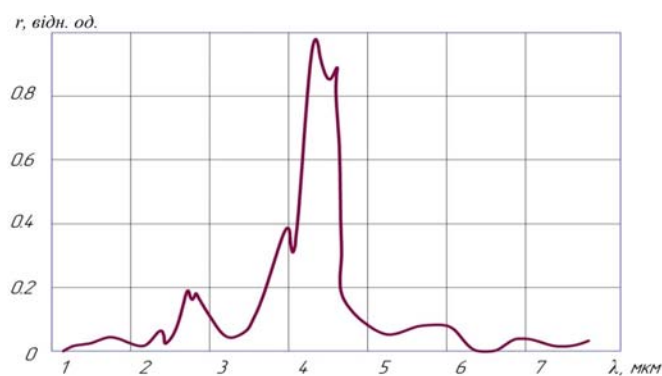


Рис. 2. ІЧ-спектр вуглеводневого полум'я.

Короткохвильова межа випромінювання полум'я вибуху вугільного пилу розходиться на довжину хвилі 0,43 мкм, тобто на видиму ділянку. Максимум енергії випромінювання, як і для метану, є в інфрачервоній ділянці з довжиною хвилі 3–5 мкм. В умовах високо запиленого повітря під час експлуатації датчиків у шахтах на захисне скло відкладається вугільний і породний пил. Для вивчення поглинальної здатності пилу сапфірові пластинки завтовшки 1,0 мм запилювали вугільним та інертним (породним) пилом. Умовно прийнято два ступені запилювання: 1 – пил розташований з одного боку скла шаром завтовшки 0,05–0,1 мм; 2 – сумарна товщина шару пилу становила 0,1–0,2 мм, пил розташований з обох боків скла.

У дослідах застосовували вугільний пил і породний, виготовлений з вапняку.

Унаслідок опрацювання отриманих даних з'ясовано, що вугільний та інертний пил навіть у разі незначного відкладення на склі повністю затримує ультрафіолетове випромінювання. За шару вугільного пилу завтовшки до 0,1 мм інтенсивність інфрачервоного випромінювання знижується приблизно на 50 %, а за шару інертного пилу – на 20 %. З цього випливає, що найбільш прийнятним є датчик, чутливий до інфрачервоного випромінювання вибуху полум'я (див. рис. 2).

Найдоцільнішим вважаємо розгляд питань побудови рецепторної частини датчика полум'я саме в цих спектральних діапазонах.

Напрягу на виході фотоприймального пристрою (ФПП) визначають за формулою

$$U_{\text{вих}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda \cdot \frac{S_{\text{випр}} - S_{\text{пр}}}{\pi R^2} \cdot \tau_a \cdot \tau_{\text{ос}}, \quad (1)$$

де $P(\lambda)$ – спектральна щільність розподілу випромінювання; $S(\lambda)$ – спектральна характеристика пропускання приймача; $S_{\text{випр}}$ – площа, з якої відбувається випромінювання; $S_{\text{пр}}$ – площа приймача випромінювання; τ_a – коефіцієнт загасання в просторі між джерелом випромінювання і приймачем; $\tau_{\text{ос}}$ – коефіцієнт пропускання захисного скла ФПП; $\varepsilon(\lambda)$ – коефіцієнт чорноти джерела випромінювання; R – відстань між фронтом джерела випромінювання і приймачем.

Відповідно до формули (1), оцінено потужність і напрягу на вході ФПП. Як ФПП розглядали стандартні вироби на основі PbS (приймач ФР1-3), PbSe (приймач СФ-4), Si (приймач ФД-9К) і комбінований приймач розробки ВАТ “Тириконд” типу ФМ-611, що працює в діапазоні кремнію і селеніду свинцю.

Для остаточного вибору ФПП необхідно оцінити вплив на нього перешкод, тобто порівняти рівні сигналу, що їх викликають “робоче” тіло і чинники, що заважають, якими є: прожектор прохідницького комбайна, загальне освітлення шахти й індивідуальне освітлення шахтаря (СГГ-3), а також можливе іскріння, що виникає під час роботи прохідницького комбайна в разі тертя коронки об гірську породу.

Розрахунки виконували за формулою (1) з урахуванням спектральних характеристик випромінювача, оскільки захисні стекла на прожекторах та індивідуальних світильниках мають свої спектральні характеристики. Для цього виміряли спектральні характеристики пропускання захисного скла прожектора комбайна, виконаного з триплексу загальною товщиною 14 мм, а також захисного скла індивідуального світильника, виконаного з оргскла завтовшки 8 мм.

Оскільки приймач має поле зору в обох площинах, що дорівнює 70°, то у формулі (1) необхідно значення площі обчислювати так:

$$S_{\text{випр}} = \pi r^2 \left[1 - \frac{r^2}{(R')^2} \right], \quad (2)$$

де r – радіус півсфери джерела випромінювання, визначуваного як $r = vt$ (де v – швидкість поширення фронту полум'я); t – поточний час; R' – відстань від джерела зародження полум'я до ФПП.

Підставимо значення $S_{\text{випр}}$ у формулу (1), отримаємо

$$U_{\text{вих}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) \cdot p(\lambda) \cdot d\lambda \cdot S_{\text{пр}} \cdot \tau_a \cdot \tau_{\text{ос}} \frac{(Vt)^2}{[(R')^2 - (Vt)^2]^2}, \quad (3)$$

В умовах запиленого атмосферного каналу значення характеристик випромінювання зменшаться від 10 до 14 разів.

Для розрахунків приймали такі початкові дані: для індивідуального світильника освітленість, створювана ним, змінювалася в діапазоні від 1 000 до 5 000 лк; температура нитки розжарення лампи прожектора – 2 200 °С, площа випромінювання – 6 см²; відстань від джерела перешкод до приймача – 0,1 м; температура іскрових утворень від тертя металу коронки об гірську породу – 1 500 °С, площа – від 0,05 до 0,3 м²; відстань від місця зародження джерела випромінювання до ФПУ – 16 м.

Результати обчислень за формулою (3) наведені в таблиці.

Значення напруг ФПП за різних джерел випромінювання

Джерело випромінювання	Тип приймача випромінювання			
	ФД-9К	ФР1-3	СФ4-10	ФМ-611
Полум'я 0,8 м	$1,01 \cdot 10^{-7}$	$2,48 \cdot 10^{-4}$	$3,21 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$
Прожектор комбайна	$1,07 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-1}$
	$9,9 \cdot 10^{-2}$	$1,19 \cdot 10^{-1}$	$1,87 \cdot 10^{-1}$	1,86
Іскріння під час роботи комбайна	$1,09 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$
	$7 \cdot 10^{-3}$	$2,42 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-2}$
Індивідуальне освітлення СГГ-3	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$3,17 \cdot 10^{-4}$	$4,41 \cdot 10^{-4}$
	$1,54 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$2,93 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$

Аналіз таблиці дає підстави зробити такі висновки: надійно виділити “корисний” сигнал на тлі перешкод будь-яким односпектральним приймачем не можливо, оскільки перешкоди маскують “корисний” сигнал; упевнене виділення “корисного” сигналу на тлі зазначених перешкод забезпечує тільки двоспектральна система виявлення. Отже, виникає завдання розподілу перешкод і сигналів, що підлягають реєстрації датчиком полум'я.

З урахуванням результатів обчислень як ФПП вирішено обрати ФМ-611, спектральна характеристика якого показана на рис. 3.

Для виявлення випромінювання полум'я у видимій частині спектра застосовують напівпровідникові фотодіоди [2].

Залежно від використовуваного матеріалу напівпровідника фотодіоди розрізняють за робочим спектральним діапазоном та чутливістю. Найбільше поширені кремнієві (Si) і

германієві (Ge) фотодіоди. Ці фотодіоди призначені для роботи в спектральному діапазоні від ультрафіолетової до ближньої інфрачервоної ділянок спектра (від 0,2 до 1,5 мкм).

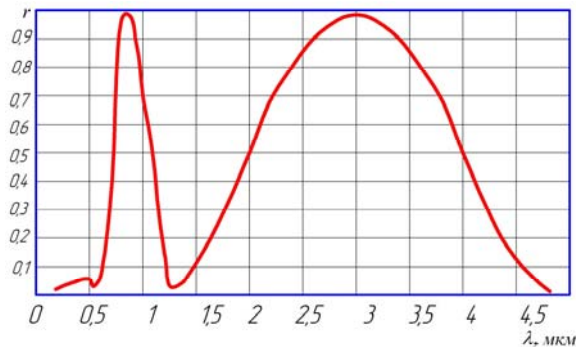


Рис. 3. Спектральна характеристика ФМ-611.

Для більше довгохвильової ділянки спектра (від 1,5 до 5,5 мкм) можна використовувати InAs і InSb фотодіоди або фотоприймачі на базі PbS, PbSe чи HgCdTe напівпровідників. Для далекої інфрачервоної (від 2 до 40 мкм) ділянки спектра застосовують піроелектричні детектори або термопари. Піроприймачі можна використовувати тільки в режимі частотної селекції, що не дає змоги за їхньою допомогою реєструвати полум'я, яке не "коливається", а термопари не забезпечують необхідної швидкодії.

Температура полум'я в разі вибуху метано-повітряної суміші досягає 1 800–2 200 °С. Спектр випромінювання нагрітих пилових часток близький до спектра випромінювання абсолютно чорного тіла, нагрітого до відповідної температури (рис. 4).

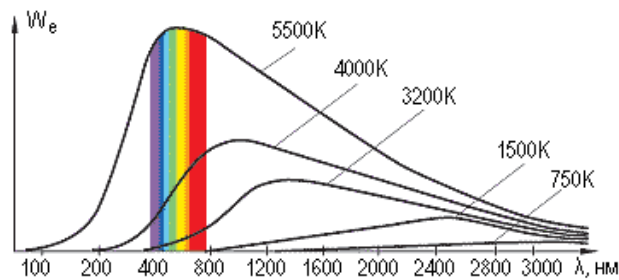


Рис. 4. Спектр випромінювання нагрітого тіла.

За великої кількості патентів і винаходів фірм, які успішно працюють на світовому ринку датчиків полум'я, виявилось небагато. До них передусім належать Detector Electronics (Det-tronics) і Spectrex (США), а також Siemens Building Technologies, Cerberus Division (Швейцарія). Певну перевагу мають піроприймачі – широкосмугові приймачі ІЧ-випромінювання. Провідні іноземні виробники використовують їх практично в усіх розробках. Проте всім датчикам полум'я, які використовують піроприймач, для надійної його ідентифікації потрібно від одиниць до десятків секунд.

Спеціальні режими налаштування датчика здатні забезпечити мінімальний час спрацьовування 25–30 мс, однак ціною різкого зниження чутливості і перешкодозахищеності.

Для реалізації принципу спектральної селекції, зазвичай, використовують декілька приймачів, здатних реагувати на випромінювання в різних ділянках спектрів випромінювання джерел [3].

У разі розробки автоматичних засобів локалізації вибухів (спалахів) метану і вугільного пилу в початковій стадії виникнення одним з основних завдань є своєчасне створення в зоні вогнища вибухогасильного середовища.

Оптимальне вирішення цього питання можливе лише в разі суворої відповідності параметрів засобу вибухогасіння, головно, інерційності процесу диспергування вибухогасильної речовини для своєчасної подачі його в зону вогнища займання. Звідси випливає, що для визначення основних тимчасових параметрів автоматичної системи локалізації вибухів, яку розробляють, а також оптимальних відстаней її датчиків і вибухопридушувальних пристроїв від потенційних вогнищ необхідно досліджувати процес поширення вибуху по виробці і, зокрема, виміряти швидкості переміщення фронту полум'я. Ці дослідження проведені в лабораторії і на полігоні МакНДІ. Для вимірювання швидкостей поширення фронту полум'я й інших тимчасових параметрів вибухового процесу виготовлено стенд "Полум'я 1" (рис. 5).

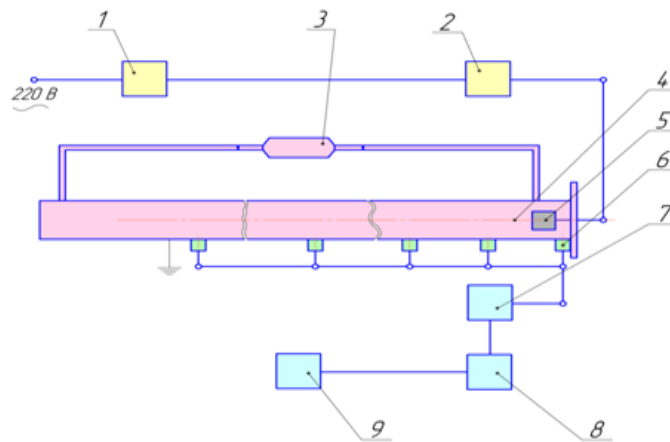


Рис. 5. Структурна схема стенду "Полум'я":

- 1 – джерело живлення (24 В); 2 – блок конденсаторний пусковий; 3 – вентилятор;
4 – циліндр; 5 – електрозапальник; 6 – датчики; 7 – блок уведення сигналів;
8 – осцилографічна приставка; 9 – комп'ютер.

Тимчасові характеристики вимірювали за допомогою фотоелектричних датчиків, які розташовані на певній відстані один від одного і фіксують момент підходу полум'я. За відомими відстанями між датчиками і виміряними по осцилограмах часовими проміжками визначали середню швидкість поширення фронту полум'я.

Зазначимо про загальне зниження швидкості полум'я за наявності вугільного пилу, на займання якого потрібно додаткові витрати тепла. Після займання вугільного пилу процес поширення вибуху ідентичний вибуху газу.

Датчики полум'я виявляє ІЧ випромінювання спалахів суміші і видає сигнал на спрацювання вибухопридушувального пристрою залежно від швидкості поширення полум'я. Чутливість датчика полум'я така, що він реагує на ядро полум'я діаметром 0,6 м з відстані 10 м. Датчик не реагує на джерела рудникового освітлення (загальне освітлення шахти, індивідуальне освітлення шахтаря, фари прохідницького комбайна тощо).

Для якісної роботи автоматичної системи локалізації вибухів необхідно застосувати двопровідну лінію для підключення датчика полум'я до контролера [2]. Вирішено перейти від аналогової форми опрацювання сигналів до цифрової з використанням мікроконтролера, тому від ручних регулювань можна відмовитися взагалі, змінивши їх збереженням у пам'яті числових значень аналогів сигналів.

Передавання інформації до виконавчого контролера відбувається кодовою послідовністю імпульсів по одній парі дротів, тобто створено передавання інформації про спрацювання датчика струмовими імпульсами по лінії живлення.

Зміну чутливості в процесі експлуатації контролюють за зміною амплітуди реакції на контрольний імпульс. Вдалося ввести контроль запилення вікна фотоприймача, а амплітуду контрольних імпульсів суттєво знизити, що забезпечило знижене енергоспоживання датчика

Виготовлено експериментальні зразки і затверджено технічне завдання на автоматичну систему вибухозахисту "Комплекс вибухопридушувальний пневматичний шахтний" (КВПШ.1) [3].

1. Система локализации взрывов автоматическая СЛВА. Руководство по эксплуатации. 1811.00.00000РЭ. – Конотоп, 1998. – 28 с.
2. Лепіхов О. І. Виготовлення стенду для налаштування та випробування датчиків виявлення полум'я. Звіт з НДР, КІСумДУ. – Конотоп, 2010. – 52 с.
3. Комплекс вибухопридушуючих пневматичних шахтних. Технічне завдання. – Конотоп, 2011. – 31 с.

INVESTIGATION OF SPECTRAL CHARACTERISTIC OF FLAME SENSOR

O. Lepihov, M. Kotlubaev, I. Buryk

*Konotop Institute of Sumy State University
24 Myr St., UA-41615 Konotop, Sumy Region, Ukraine
byruk1982@mail.ru*

The main directions in the development of a new generation of flame sensors are chosen to be a use of two-wire lines to connect the sensor fire to controller; transfer of information about the operation of the sensor via current pulses propagating along the power line; pollination control window, and checking the function of the sensor. The device is able to

provide reliable registration of outbreaks and is able to determine the extent of their development (i.e., the propagation velocity).

Key words: explosion, flame, methane, sensor, spectrum, photodetector.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА ПЛАМЕНИ

А. Лепихов, М. Котлубаев, И. Бурик

*Конопольский институт Сумского государственного университета
ул. Мира, 24, 41615 г. Конополь, Сумская область, Украина
byruk1982@mail.ru*

Основными направлениями в разработке датчика пламени нового поколения были избраны применение двухпроводной линии для подключения датчика пламени к контроллеру, передача информации о срабатывании датчика токовыми импульсами по линии питания, контроль запыленности окна и проверка исправности датчика. Датчик способен обеспечивать надежную регистрацию вспышек и определять степень их развития (скорость распространения).

Ключевые слова: взрыв, пламя, метан, датчик, спектр, фотоприемник.

Стаття надійшла до редколегії 15.04.2012

Прийнята до друку 19.06.2012