

УДК 665.521.004.17

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/1\(1\).2025.17-23](https://doi.org/10.36910/3083-6255/1(1).2025.17-23)

В.І. Голінько
О.К. Кузнецов
В.А. Забеліна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОКАТАЛІТИЧНИХ ДАТЧИКІВ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ ПРИ ЗАЛИВАННІ ЇХ ГАЗОДИFUЗІЙНИХ ФІЛЬТРІВ ВОДОЮ

Мета. Дослідити вплив випадків випадкового заливання водою металокерамічних газодифузійних фільтрів термокаталітичних датчиків на роботу засобів контролю вибухонебезпечності.

Методика. В роботі застосовані експериментальні методи дослідження в лабораторних умовах серійних термокаталітичних датчиків пелістерного типу з неселективним платино-паладієвим каталізатором, оцінка та узагальнення результатів досліджень.

Результати. Виконані дослідження дозволили оцінити вплив випадків заливання водою термокаталітичних датчиків з металокерамічними фільтрелементами на роботу засобів контролю вибухонебезпечності. Виявлено, що навіть при багаторазовому заливанні фільтрів дистильованою водою характеристики термокаталітичних датчиків після висихання фільтрелементів не змінюються. При заливанні очищеною мінералізованою водою за багаторазового заливання фільтрів спостерігається зміщення нуля аналізаторів і лише в окремих випадках несуттєве зниження їх чутливості. Заливання неочищеною мінералізованою водою викликає зміщення нуля у всіх аналізаторів і зменшення їх чутливості.

Новизна. Встановлено, що багаторазове заливання металокерамічних газодифузійних фільтрів термокаталітичних датчиків неочищеною високомінералізованою водою призводить до зміщення нуля газоаналізаторів в бік позитивних значень і до зменшення їх чутливості, що обумовлюється з появою накопичення сольових відкладень на внутрішній поверхні фільтрів та підвищенням газодифузійного опору фільтра.

Практична цінність. Полягає у встановленні умов за яких необхідно проводити перевірку та налаштування засобів контролю вибухонебезпечності заснованих на термокаталітичному методі при їх експлуатації в умовах вугільних шахт та в системах раннього виявлення небезпек на об'єктах нафтогазового комплексу.

Ключові слова: безпека, горючі гази, паливо, системи моніторингу, датчики, вибухи.

Вступ.

Всякий техногенний об'єкт на якому використовуються вибухонебезпечні речовини представляє небезпеку для людини [1-2]. Загальна проблема забезпечення техногенної безпеки обумовлює необхідність аналізу існуючого рівня безпеки та, за необхідності, розробки заходів спрямованих на зниження цього рівня.

В системі заходів безпеки значна увага приділяється розробці та впровадженню систем моніторингу вибухонебезпечності об'єктів та розробка систем захисного захисту і оповіщення про небезпечні ситуації. У разі виявлення загрози системи захисту повинні автоматично відключати обладнання яке може бути джерелом запалення вибухонебезпечних сумішей або з метою запобігання аварій зупиняти технологічні процеси. Основою для розробки таких систем повинні стати сучасні інформаційні технології, які дозволяють суттєво підвищити точність та

надійність засобів контролю вибухонебезпечності [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Розповсюдженими об'єктами підвищеної небезпеки на яких можливе утворення вибухонебезпечних газоповітряних чи паливоповітряних сумішей є вугільні шахти небезпечні за газом метаном, а також такі об'єкти нафтопаливного комплексу як сховища паливних матеріалів та пункти заправки паливними матеріалами (АЗС). Причинами утворення вибухонебезпечних паливоповітряних сумішей на АЗС є витоки летких фракцій нафтопродуктів внаслідок переповнення резервуарів під час заливки нафтопродуктів з автоцистерн, переповнення паливних баків при заправці автомобілів, роз'єднання з'єднань у технологічних лініях і поломок в напірно-всмоктувальних трубопроводах резервуарів, аварій на трубопроводах і в колонках внаслідок корозії металу, несправності

роздавальних кранів та пошкодження напірних рукавів, несправності зливо-наливних пристроїв резервуарів та дихальних клапанів, розгерметизація люків резервуарів тощо [4, 5].

Важливим заходом з попередження вибухів є застосування систем моніторингу вибухонебезпеки техногенних об'єктів, основними задачами яких є контроль вибухонебезпечності середовища та своєчасне прийняття управляючих рішень спрямованих на усунення загрози вибухів.

Широкого розповсюдження систем моніторингу вибухонебезпеки набули на вугільних шахтах [6]. Існуючі системи моніторингу вибухонебезпеки здійснюють контроль, передачу, зберігання, видачу інформації про вміст метану в рудниковій атмосфері та видачу управляючого сигналу на відключення електроенергії, як основного джерела запалення метаноповітряної суміші.

Основними і найбільш важливими елементами системи моніторингу вибухонебезпеки є засоби контролю вибухонебезпечності середовища, які реагують на наявність та вміст вибухонебезпечних газів чи парів в повітрі. Складні умови їх експлуатації, вплив температури, вологості, зміна тиску, газового складу середовища, випадкові удари, вібрація, zalивання водою, забруднення пилом та дія інших факторів можуть впливати на працездатність та стабільність їх роботи, а це, в свою чергу, може призвести до неспрацювання або помилкового спрацювання засобів вибухозахисту, наприклад захисного вимкнення електроенергії, що може стати є однією із причин виникнення вибухів.

Все це потребує проведення подальших досліджень термокаталітичних датчиків для вдосконалення систем моніторингу вибухонебезпечності.

Мета статті (постановка завдання).

Враховуючи вищезазначене, метою роботи є проведення бібліометричного аналізу наукових публікацій з цивільного захисту та охорони праці в Україні для з'ясування загального стану питання та виявлення тенденцій розвитку. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

– провести первинний аналіз стану наукових публікацій за визначеними ключовими словами в наукометричній базі Scopus;

– провести подальший аналіз стану наукових публікацій за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення VOSviewer;

– виокремити загальні тенденції розвитку напрямку цивільного захисту та охорони праці.

Методи дослідження.

В роботі застосовані експериментальні дослідження серійних термокаталітичних датчиків пелістерного типу з платино-паладієвим каталізатором, оцінка та узагальнення результатів досліджень.

Виклад основного матеріалу.

Експериментальні дослідження впливу засобів контролю вибухонебезпечності здійснювали в лабораторних умовах з використанням атестованої метаноповітряної суміші з концентрацією метану 1,0 %об.

Застосовувані в сучасних термокаталітичних датчиках керамічні та металокерамічні фільтроелементи, за порівняно малого їх газодифузійного опору, забезпечують надійний захист чутливих елементів датчиків від впливу чинників навколишнього середовища. Ці фільтроелементи запобігають також zalивці внутрішньої порожнини термокаталітичного датчика водою під час впливу струменя води на виносний датчик, а також навмисному або випадковому зануренню датчика у воду. Однак під час впливу води на виносний датчик відбувається насичення вологою фільтроелемента, що викликає різке збільшення його газодифузійного опору. За тривалого або багаторазового впливу води, особливо забрудненої і високомінералізованої, на термокаталітичний датчик можлива зміна газодифузійних властивостей фільтроелемента. Крім того, не є винятком накопичення різних забруднювачів на внутрішньому боці фільтроелемента, що може призвести до зміни радіаційної складової теплообміну і викликати відповідно зміщення нуля газоаналізатора.

В лабораторних умовах проводилися дослідження впливу багаторазового

заливання фільтроелемента водою, з точки зору змін властивостей термокаталітичних датчиків після його висихання.

Для досліджень нами було відібрано 10 серійних термокаталітичних датчиків з металокерамічним фільтроелементом, що використовуються в газоаналізаторах метану АТ-3-1, які були піддані багаторазовому впливу води такого складу:

- чиста дистильована вода;
- чиста високомінералізована вода з протипожежно-зрошувального трубопроводу шахти «Західно-Донбаська»;
- неочищена високомінералізована шахтна вода.

Дослідження проводили за постійної концентрації метану в газовій камері, що дорівнює 1,0 %об., у такій послідовності:

- датчики встановлювали в газову камеру яку спочатку заповнювали чистим повітрям і після закінчення перехідних процесів встановлювали нуль газоаналізатора;
- газова камера заповнювалась атестованою метаноповітряною сумішшю з концентрацією метану 1,0 %об. і шляхом регулювання чутливості газоаналізатора встановлювались відповідні його показання;
- після встановлення показань аналізатора випробовуваний виносний датчик занурювався в посудину з водою на час, достатній для повного насичення

фільтроелемента водою. Факт насичення фільтроелемента водою встановлювали за різким зниженням показань аналізатора (практично до нуля);

- газова камера продувалася чистим повітрям;
- після стікання води, висихання фільтроелемента і закінчення перехідних процесів, викликаних заливанням фільтроелемента (до 2-х годин), знімали показання з аналізатора в чистому повітрі, визначали величину зміщення нуля аналізатора;
- проводилося коригування нуля аналізатора;
- газову камеру заповнювали метаноповітряною сумішшю з концентрацією метану 1,0 %об. і визначали значення сталих показань аналізатора.

У зазначеному порядку проводили послідовно по десять експериментів на кожному датчику за застосування чистої дистильованої, високомінералізованої очищеної та неочищеної шахтної води. Оцінювання впливу заливання водою чутливих елементів на роботу аналізаторів здійснювали окремо за кожним видом впливу для поодиноких і багаторазово повторюваних випадків заливання.

Результати спостережень наведено в табл. 1 - 3.

Таблиця 1.

Вплив дистильованої води на термокаталітичні датчики

№ дат-чика	Початкові показання, %об.	Показання після одноразового заливання, %об.	Зміщення нуля після одноразового заливання, %об.	Показання після багаторазового заливання, %об.	Зміщення нуля після багаторазового заливання, %об.
1	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
2	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
3	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
4	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
5	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
6	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
7	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
8	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
9	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
10	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0

Таблиця 2.

Вплив очищеної високомінералізованої шахтної води на термокаталітичні датчики

№ дат-чика	Початкові показання, %об.	Показання після одноразового заливання, %об.	Зміщення нуля після одноразового заливання, %об.	Показання після багаторазового заливання, %об.	Зміщення нуля після багаторазового заливання, %об.
1	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
2	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
3	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,2
4	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
5	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
6	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
7	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,2
8	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
9	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
10	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1

Таблиця 3.

Вплив неочищеної високомінералізованої шахтної води на термокаталітичні датчики

№ дат-чика	Початкові показання, %об.	Показання після одноразового заливання, %об.	Зміщення нуля після одноразового заливання, %об.	Показання після багаторазового заливання, %об.	Зміщення нуля після багаторазового заливання, %об.
1	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,2
2	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,2
3	1,0	1,0	+0,1	0,8	+0,3
4	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,2
5	1,0	1,0	0,0	0,8	+0,3
6	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,1
7	1,0	1,0	+0,1	0,8	+0,3
8	1,0	1,0	0,0	0,8	+0,3
9	1,0	1,0	+0,1	0,8	+0,3
10	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,1

Обговорення результатів.

Як видно з отриманих результатів, заливка фільтроелементів чистою дистильованою водою не призводить до зміни чутливості аналізаторів, що свідчить про те, що вода практично не взаємодіє з металокерамічним фільтром і не змінює його властивостей. Незначний зсув нуля у трьох датчиків після багаторазового оброблення, мабуть, має випадковий

характер, однак, можливо, це пов'язано з деякими змінами властивостей внутрішньої поверхні фільтроелемента, що відображають, під час тривалого багаторазового впливу води.

Багаторазове заливання фільтроелемента чистою високомінералізованою шахтною водою призводить до зміщення нуля практично у всіх термокаталітичних датчиків (за винятком

двох). Причому характерно, що зміщення нуля у всіх датчиків спостерігається в бік позитивних значень вихідного сигналу.

Причина цього, вочевидь, полягає в тому, що під час багаторазового просочення і висихання фільтроелемента на його внутрішній поверхні накопичуються відкладення солі, що призводить до зменшення коефіцієнта чорноти цієї поверхні і, відповідно, до зниження частки радіаційної складової теплообміну термоелементів. З огляду на те, що коефіцієнт чорноти каталітично активного елемента в нагрітому стані доходить до 0,98, а порівняльного - не перевищує 0,85 [7], зменшення коефіцієнта чорноти внутрішньої поверхні фільтроелемента повинно призводити до дещо більшого розігрівання робочого елемента і зміщення нуля в область позитивних значень вихідного сигналу.

Чутливість восьми термокаталітичних датчиків після багаторазового заливання високомінералізованою шахтною водою залишилася незмінною. Однак у двох із них спостерігалось зниження вихідного сигналу на 0,1 %об. Можна було б припустити, що таке незначне зниження чутливості має випадковий характер, проте для цих датчиків характерне також і максимальне зміщення нуля, що дає змогу зробити висновок про зв'язок у цьому разі накопичення сольових відкладень не лише зі зміщенням нуля, а й із деяким підвищенням газодифузійного опору фільтра.

В останньому випадку, вже після одноразового заливання датчика неочищеною високомінералізованою шахтною водою спостерігається зміщення нуля в трьох випадках із десяти. Багаторазове заливання фільтроелемента викликає зміщення нуля у всіх термокаталітичних датчиків. Як і в попередньому випадку, зміщення нуля у всіх датчиків спостерігається в бік позитивних значень вихідного сигналу. Показання аналізаторів після багаторазового заливання зменшилися на 0,1 - 0,2 %об., що свідчить про більш інтенсивне зростання опору фільтроелемента внаслідок накопичення в його порах нерозчинних твердих частинок.

Слід також зазначити, що випадки потрапляння води в реакційну камеру датчика та заливання термоелементів водою,

які можна досить легко виявити за різким збільшенням струму, споживаного термокаталітичним датчиком під час живлення його від джерела стабільної напруги, або за зниженням напруги на термогрупі - у разі живлення від джерела стабільного струму, під час усіх випробувань нами не виявлено. Тому наслідки заливання термоелементів водою не вивчали.

Висновок.

Виконані дослідження дозволили оцінити вплив випадків заливання водою термокаталітичних датчиків з металокерамічними фільтроелементами на роботу засобів контролю вибухонебезпечності. Виявлено, що навіть при багаторазовому заливанні фільтрів дистильованою водою характеристики термокаталітичних датчиків після висихання їх фільтроелементів не змінюються. При заливанні очищеною мінералізованою водою за багаторазового заливання фільтрів спостерігається зміщення нуля аналізаторів і лише в окремих випадках несуттєве зниження їх чутливості. Заливання неочищеною мінералізованою водою викликає зміщення нуля у всіх аналізаторів і зменшення їх чутливості.

Зважаючи на це, при використанні газоаналізаторів з виносними термокаталітичними датчиками в шахтних умовах, де можливе заливання їх фільтроелементів забрудненою високомінералізованою водою необхідно проводити їх налаштування після виявлення випадків такого заливання. При використанні газоаналізаторів для контролю вибухонебезпечності середовища на об'єктах нафтопаливного комплексу, де за екстремальних природних умов їх експлуатації можливе заливання лише дистильованою дощовою водою, випадки заливання не призводять до зміни характеристик газоаналізаторів після висихання датчиків. Це дозволяє використовувати термокаталітичні датчики не лише вмонтованими в конструкцію газоаналізаторів, а і у вигляді виносних датчиків, що дозволяє значно спростити їх конструктивне виконання, а також процеси налаштування та обслуговування засобів контролю вибухонебезпечності.

Список літератури

1. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки : монографія / В.Ф. Стоєцький та ін. К.: Астон, 2006. 410 с.
2. Безпека та гігієна праці у гірничодобувній галузі та вугільній промисловості в Україні / Міжнародна організація праці; Група технічної підтримки з питань гідної праці та Бюро МОП для країн Центральної та Східної Європи. Київ: МОП, 2018. 36 с.
3. Голінько В.І., Голінько О.В. Теоретико-методологічні засади комп'ютерного моніторингу систем вибухозахисту. Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», 2023, №2-37, С. 22-29.
4. Івасенко В.М. Автозаправні станції: дослідження обсягів викидів, вплив на довкілля / Технологический аудит и резервы производства. – 2015. - №1/2 (21). – С.8-12.
5. Івасенко В. М., Приміський В. П. Методи і прилади контролю викидів автозаправних станцій. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. 2014. № 60 (1102). С. 174-180.
6. Vasyi Holinko, Roman Dychkovskiy, Artur Dyczko, Marcin Popczyk. Methane from Underground Coal Mines in Ukraine: Elements of Acquisition and Management Processes: monograph. KOMAG Institute of Mining Technology. 2024. 108 s.
7. Голинько В.И. Котляров А.К. Контроль взрывоопасности среды в горных выработках и оборудовании угольных шахт: монография. Днепропетровск: изд-во «Ли-ра», 2010. 368 с.

References

1. Stoiets'kyi, V.F., et al. (2006). Upravlinnia tekhnohennoi bezpekoiu ob'iektiv pidvyshchenoi

nebezpeky: monohrafiia [Management of Technogenic Safety of High-Risk Facilities: Monograph]. Kyiv: Aston. 410 p. (In Ukrainian).

2. Mizhnarodna orhanizatsiia pratsi (International Labour Organization). (2018). Bezpeka ta hiiiena pratsi u hirnychodobuvnii haluzi ta vuhilnii promyslovosti v Ukraini [Occupational Safety and Hygiene in the Mining and Coal Industry in Ukraine]. Kyiv: ILO. 36 p. (In Ukrainian).

3. Holinko, V.I., Holinko, O.V. (2023). Teoretyko-metodolohichni zasady kompiuternoho monitorynhu system vybukhozakhystu [Theoretical and Methodological Foundations of Computer Monitoring of Explosion Protection Systems]. Naukovi pratsi DonNTU. Seriya: "Informatyka, kibernetyka ta obchysliuvalna tekhnika", (2-37), 22-29. (In Ukrainian).

4. Ivashenko, V.M. (2015). Avtozapravni stantsii: doslidzhennia obsiagiv vykidiv, vplyv na dovkillia [Gas Stations: Research on Emission Volumes and Environmental Impact]. Tekhnolohicheskii audit i rezervy proizvodstva, (1/2(21)), 8-12. (In Ukrainian).

5. Ivashenko, V.M., Prymiskiy, V.P. (2014). Metody i prylady kontroliu vykidiv avtozapravnykh stantsii [Methods and Instruments for Controlling Gas Station Emissions]. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta komplekсы, (60(1102)), 174-180. (In Ukrainian).

6. Holinko, V., Dychkovskiy, R., Dyczko, A., Popczyk, M. (2024). Methane from Underground Coal Mines in Ukraine: Elements of Acquisition and Management Processes: Monograph. KOMAG Institute of Mining Technology. 108 p.

7. Holinko, V.I., Kotliarov, A.K. (2010). Kontrol' vzryvoopasnosti sredy v gornykh vyrabotkakh i oborudovanii ugol'nykh shakht: monografiia [Control of Explosion Hazard in Mine Workings and Equipment of Coal Mines: Monograph]. Dnipro: Lira Publishing. 368 p. (In Ukrainian).

Голінько Василь Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», (пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6069-0515>
E-mail: golinkongu@gmail.com

Забеліна Валентина Андріївна – аспірант, кафедра охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», (пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7678-7917>
E-mail: vprotsyuk@gmail.com

Кузнецов Олег Костянтинович – аспірант, кафедра охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», (пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4038-8102>
E-mail: oleg.kuznetsov95@gmail.com

STUDY OF THERMOCATALYTIC COMBUSTIBLE GAS SENSORS UNDER WATER INGRESS INTO THEIR GAS DIFFUSION FILTERS

Purpose. To investigate the impact of accidental water ingress into the metal-ceramic gas diffusion filters of thermocatalytic sensors on the performance of explosion hazard monitoring devices.

Methods. The study employs experimental research methods under laboratory conditions using serial thermocatalytic pellistor-type sensors with a non-selective platinum-palladium catalyst. The results are assessed and generalized.

Results. The conducted research allowed us to evaluate the effect of water ingress into thermocatalytic sensors with metal-ceramic filter elements on the performance of explosion hazard monitoring devices. It was found that even after multiple instances of water ingress using distilled water, the characteristics of the thermocatalytic sensors remained unchanged after the filter elements dried. When exposed to purified mineralized water, repeated water ingress led to zero drift in gas analyzers and, in some cases, a slight decrease in sensitivity. In contrast, exposure to unpurified mineralized water resulted in zero drift across all analyzers and a reduction in sensitivity.

Novelty. It was established that repeated water ingress into the metal-ceramic gas diffusion filters of thermocatalytic sensors using unpurified highly mineralized water leads to zero drift of gas analyzers toward positive values and a reduction in sensitivity. This effect is attributed to the accumulation of salt deposits on the inner surface of the filters and an increase in the gas diffusion resistance of the filter.

Practical significance. The findings establish conditions under which it is necessary to check and calibrate explosion hazard monitoring devices based on the thermocatalytic method when operating in coal mines and early hazard detection systems at oil and gas facilities.

Keywords: hazard, combustible gases, fuel, monitoring systems, sensors, explosions.

Vasyl Holinko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Labor Protection and Civil Security, Dnipro University of Technology, (19 Dmytro Yavornytskoho Ave, 49005 Dnipro).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6069-0515> E-mail: golinkongu@gmail.com

Valentyna Zabelina, graduate student, Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology, (19 Dmytro Yavornytskoho Ave, 49005 Dnipro).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7678-7917> E-mail: vprotsyuk@gmail.com

Oleg Kuznetsov, graduate student, Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology, , (19 Dmytro Yavornytskoho Ave, 49005 Dnipro).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4038-8102> E-mail: oleg.kuznetsov95@gmail.com