

**В. В. Ковалишин**, д-р техн. наук, професор, **В. М. Марич**,  
**Я. Б. Кирилів**, канд. техн. наук, ст. наук. спіроб., **В. В. Кошеленко**, канд. техн. наук, доцент,  
**О. Л. Мірус**, канд. хім. наук, доцент  
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

### ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН, ЯК СКЛАДНИКІВ ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ЛЕГКИХ МЕТАЛІВ

Виробництва, пов'язані з отриманням і переробкою легких металів, зокрема магнію та його сплавів, характеризуються підвищеною пожежною та вибухопожежною небезпекою. При виборі безпечних умов проведення технологічних процесів, в яких в обігу знаходиться магній та його сплави, необхідно враховувати особливості їх займання, горіння і гасіння. Встановлено, що для гасіння магнію та його сплавів використовуються вогнегасні порошкові склади спеціального призначення, які покривають вогнище горіння, що перешкоджає доступу кисню повітря в зону горіння. Проаналізовано авторські свідоцтва та патенти з вогнегасними порошковими складами спеціального призначення, які використовуються для гасіння легких металів. Проведені лабораторні дослідження гасіння магнію та магнієвих сплавів оксидом магнію, терморозширеним графітом та хлоридом натрію. Встановлено, що хлорид натрію та терморозширений графіт гасять магній та магнієві сплави, а оксид магнію не гасить.

**Ключові слова:** легкі метали, магній, магнієві сплави, горіння, вогнегасні порошкові склади спеціального призначення, гасіння

**В. В. Ковальшин**, **В. М. Марич**,  
**Я. Б. Кырылив**, **В. В. Кошеленко**, **А. Л. Мирус**

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, КАК СОСТАВЛЯЮЩИХ ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЛЕГКИХ МЕТАЛЛОВ

Производства, связанные с получением и переработкой легких металлов, в частности магния и его сплавов, характеризуются повышенной пожарной и взрывопожарной опасностью. При выборе безопасных условий проведения технологических процессов, в которых в обращении находится магний и его сплавы, необходимо учитывать особенности их воспламенения, горения и тушения. Установлено, что для тушения магния и его сплавов используются огнетушащие порошковые составы специального назначения, которые образуют полную защиту благодаря покрытию очага горения, препятствуя доступу кислорода воздуха в зону горения. Проанализированы авторские свидетельства и патенты с огнетушащими порошковыми составами специального назначения, используемые для тушения легких металлов. Проведены лабораторные исследования тушения магния и магниевых сплавов оксидом магния, терморасширенным графитом и хлоридом натрия. Установлено, что хлорид натрия и терморасширенный графит тушат магний и магниевые сплавы, а оксид магния не тушит.

**Ключевые слова:** легкие металлы, магний, магниевые сплавы, горение, огнетушащие порошковые составы специального назначения, тушение

## RESEARCH OF THE CHEMICALS USABLE IN FIRE EXTINGUISHING POWDER FOR LIGHT METAL FIRES EXTINGUISH

Production associated with obtaining and processing light metals, including magnesium and its alloys are characterized by increased fire and explosion hazard. When choosing a safe environment of processes, which in turn is magnesium and its alloys must take into account the peculiarities of their ignition, combustion and fire. Found that to extinguish magnesium and its alloys are used extinguishing powder formulations for special purposes, which form a complete protection coverage through the combustion chamber, which prevents access of oxygen in the combustion zone. Analyzed patents with extinguishing powder formulations for special purposes, which are used to extinguish the light metal. Conducted laboratory tests extinguish magnesium and magnesium alloys magnesium oxide, exfoliated graphite and sodium chloride. Established that sodium chloride and exfoliated graphite extinguish magnesium and magnesium alloys, and magnesium oxide will not extinguish.

**Key words:** light metals, magnesium, magnesium alloys, burning, extinguishing powder formulations for special purposes, fire

**Вступ.** Використання легких металів, зокрема магнію та його сплавів, є практичним та ефективним у промисловості як в Україні, так і за її межами. Зокрема представником групи легких металів є магній та його сплави. Магній за певних умов може самозайматись на повітрі. Температура самозаймання: компактного металу – 650 °С, стружки – 510 °С, пилу – 420...440 °С. Нижня концентраційна межа поширення – 10...20 г/м<sup>3</sup>. Займається від іскор та полум'я [1, 2].

Магній – сріблясто-білий блискучий метал, порівняно м'який і пластичний, гарний провідник тепла і електрики. Майже в 5 разів легший від міді, в 4,5 раза легший від заліза; навіть алюміній в 1,5 раза важчий від магнію. Плавиться магній при температурі 651 °С, але у звичайних умовах розплавити його досить важко: нагрітий на повітрі до 550 °С він спалахує і миттєво згоряє сліпучо-яскравим полум'ям. Смужку магнієвої фольги легко підпалити звичайним сірником, а в атмосфері хлору магній самозаймається навіть при кімнатній температурі. При горінні магнію виділяється велика кількість ультрафіолетових променів і тепла – щоб нагріти склянку крижаної води до кипіння, потрібно спалити всього 4 г магнію [2].

Тісно пов'язана з будовою електронних оболонок атома магнію його реакційна здатність. Через наявність на зовнішній оболонці тільки двох електронів атом магнію схильний легко віддавати їх для одержання стійкої восьмиелектронної конфігурації; тому магній в хімічному відношенні дуже активний. На повітрі магній окислюється, але утворюється при цьому окисна плівка, яка оберігає метал від подальшого окислення. Нормальний електронний потенціал магнію в кислому середовищі дорівнює 2,37 В, в лужному – 2,69 В. У розбавлених кислотах магній розчиняється вже на холоді.

Під впливом фтористоводневої кислоти не розчиняється внаслідок утворення плівки з важкорозчинного у воді фториду MgF<sub>2</sub>, в концентрованій сірчаній кислоті майже нерозчинний. Магній легко розчиняється при дії розчинів солей амонію. Розчини лугів на нього не діють [2].

Хімічні властивості магнію досить своєрідні. Він легко забирає кисень і хлор у більшості елементів, не боїться їдких лугів, соди, гасу, бензину і мінеральних масел. З холодною водою магній майже не взаємодіє, але при нагріванні розкладає її з виділенням водню. У цьому відношенні він займає проміжне положення між берилієм, який взагалі з водою не реагує, і кальцієм, що легко з нею взаємодіє.

Пил магнієвих сплавів загоряється навіть від іскри і горіння має характер вибуху. Пил і стружка магнію і його сплавів за наявності залишків мастила можуть самозагорятись. Ще більш небезпечним є вологий магнієвий пил, горіння якого протікає надзвичайно інтенсивно і також має характер вибуху [3].

Можливе займання наелектризованого магнієвого пилу, який нагромаджується на стінках витяжних трубопроводів. Електризація пилу може відбутися і внаслідок тертя при роботі шліфувальних верстатів.

При роботі з магнієм небезпечними є і пиловловлювальні установки з водяним зрошенням (водяними фільтрами). Магнієвий пил нагромаджується на поверхні води, а через незадовільну вентиляцію фільтрів в них можливе утворення вибухонебезпечної концентрації водню, яка утворюється внаслідок взаємодії магнію з водою. Магній горить сліпучо-білим полум'ям при температурі 2200 °С. Після горіння утворюється порошок білого кольору – магній оксид.

Виробництва, пов'язані з отриманням і переробкою магнію та його сплавів, характеризуються підвищеною пожежною та вибухопожежною небезпекою. При виборі безпечних умов проведення технологічних процесів, в яких в обігу знаходиться магній та його сплави, необхідно враховувати особливості їх займання, горіння і гасіння [4].

Горіння металів, їх сплавів, металовмісних речовин, в т.ч. металоорганічних речовин, згідно з ГОСТ 27331-87, поділяються на 3 класи:

– клас Д1 – горіння легких металів (алюміній, магній та їх сплави, кальцій, титан), умовно «важких» металів (цирконій, ніобій, уран і ін.);

– клас Д2 – горіння лужних металів (літій, натрій, калій і ін.);

– клас Д3 – металоорганічні з'єднання: алюмо-, літій, цинк, органіка, гідриди алюмінію, літію та ін.

Кожен із згаданих металів і їх гідриди в звичайному стані є твердою речовиною, крім металоорганічних з'єднань (МОЗ), що є рідинами.

З особливостей металів, які мають пряме відношення до їх пожежо-, вибухонебезпечності та горіння, необхідно відзначити такі:

- схильність до самозаймання у звичайних умовах (тобто пірофорність);
- здатність вибухати в стані аерозависі;
- взаємодія палаючих металів з водою, деякими газовими вогнегасними сполуками: хлоридом (хлорфторвуглеводневими), азотом (наприклад, магній) і ін.

Найбільш пожежо-, вибухонебезпечними металами, горіння яких відбувається за класом Д1, є легкі метали у вигляді продуктів їх переробки: порошоків різної дисперсності, стружки. Метали у вигляді виробів різної конфігурації (листи, профілі і т.п.) підпалити практично неможливо, якщо забезпечуються умови переважання тепловідведення над теплопритоком.

Таким чином, характер горіння металів і металовмісних речовин виключає застосування води, водопінних засобів гасіння та ряду газових вогнегасних складів, оскільки при контакті цих засобів з палаючими металами відбувається їх реакція, що призводить до розпалювання.

У світовій практиці для гасіння пожеж класів Д1, Д2, Д3 застосовуються вогнегасні порошоківі склади спеціального призначення (ВПСП). При створенні рецептури таких складів враховуються такі чинники:

- основна речовина, що визначає цей склад (від 80 до 95% об.), не повинна містити в молекулі атом кисню (не підтримувати горіння) і не вступати з металом в хімічну реакцію;
- ВПСП повинні мати певний фракційний склад (як правило, в діапазоні 50-75 мкм);
- ВПСП не повинні злежуватися в процесі зберігання, що досягається включенням до їх складу антизлежувальних гідрофобізуючих добавок, а також володіти рядом інших експлуатаційних властивостей відповідно до загальноприйнятих технічних вимог.

На сьогодні найбільш поширені для гасіння пожеж класів Д1, Д2, Д3 ВПСП на основі хлоридів лужних металів (КСl – Росія, Україна і NaCl – Європа, США). В якості вогнегасних складів для металів існує ряд рідинних складів (наприклад, на основі борних ефірів), але вони не набули широкого застосування в практиці пожежогасіння [4].

Основним принципом досягнення позитивного результату при гасінні металовмісних речовин є створення за допомогою ВПСП захисного повного покриття вогнища горіння, що перешкоджає доступу кисню повітря в зону горіння. Таке покриття має бути досить щільним, мати необхідну товщину шару порошку по всій поверхні осередку горіння, що досягається при певній питомій витраті порошку ( $\text{кг/м}^2$ ).

На основі аналізу пожеж, які виникли під час загоряння магнію та його сплавів, і методів та способів гасіння, бачимо, що необхідно розробити та вдосконалити методи та способи гасіння пожеж магнію та його сплавів, методики дослідження гасіння легких металів. Тому на сьогодні стало надзвичайно актуальним дослідження способів, методів та тактики гасіння пожеж магнію та його сплавів.

**Мета роботи.** Метою роботи є дослідження вогнегасних речовин та методів гасіння пожеж легких металів на прикладі магнію та його сплавів і розроблення на їх основі нових або вдосконалених вогнегасних речовин та методів їх подачі.

**Викладення основного матеріалу.** Гасіння металів і металовмісних речовин має ряд особливостей, властивих кожній групі речовин по класах Д1, Д2, Д3 в т. ч.:

1. для гасіння металів за класом Д1 ВПСП повинен відповідати критеріям, наведеним вище, при цьому основу порошку становить, наприклад, хлорид калію (з щільністю близько  $1 \text{ г/см}^3$ );

2. для гасіння гідридів металів (Д3) застосовується ВПСП з характеристиками, аналогічними для ВПСП, застосовуваного для гасіння по класу Д1;

3. для металоорганічних речовин, які є рідинами у звичайних умовах, ВПСП повинен мати щільність, близьку до щільності цих речовин ( $\sim 0,7-0,8 \text{ г/см}^3$ ), що забезпечується введенням до складу порошку негорючої добавки з низькою щільністю (перліт, вермикуліт), що також сприяє адсорбції МОЗ і покращує надійність гасіння.

Гасіння металів і металовмісних сполук ВПСП докорінно відрізняється від гасіння, наприклад, вуглеводневих ЛЗР, ГР (класи пожеж А, В, С) порошками загального призначення. У разі гасіння пожеж класу Д (Д1, Д2, Д3) основне завдання при подачі ВПСП полягає у створенні на поверхні вогнища горіння шару порошкового покриття, бажано однакової висоти, що досягається шляхом використання так званих заспокоювачів, приєднаних до пристрою подачі (на виході ствола подачі) вогнегасників, порошкових автомобілів. Використання насадки-заспокоювача при подачі ВПСП необхідно при гасінні порошоків металів і їх гідридів, при цьому практично не допускається утворення аерозависі вогнегасного порошку. Для гасіння пожеж класів А, В, С застосовується розпилювальний пристрій типу «пістолет», при цьому створюється порошкова хмара над вогнищем горіння, яка сприяє досягненню гасіння [4].

Однак використання порошкового пожежогасіння теж має свої недоліки:

- вогнегасний порошковий склад на відміну від води не володіє охолоджуючим ефектом. Надійне гасіння можна досягти при охолодженні металів до температури нижче температури їх самозаймання. А температура палаючих металів, як правило, значно вища від температури самозаймання, тому процес гасіння металів і їх гідридів є досить тривалим;

- практично всі автомобілі порошкового гасіння мають обмежені технічні можливості і не можуть забезпечити надійного гасіння в приміщеннях об'ємом понад  $300-600 \text{ м}^3$ . Максимальна висота подачі ВПСП залежно від типу автомобіля порошкового гасіння і тиску в ємності становить 10-25 м, при цьому максимальна відстань подачі порошку по горизонталі становить 40-60 м, що є в ряді випадків недостатнім для того, щоб забезпечити доставку порошку до місця займання.

Незважаючи на зазначені недоліки порошкового пожежогасіння самою універсальною, надійною і ефективною вогнегасною речовиною для гасіння металів і металовмісних матеріалів є порошкові склади спеціального призначення. Тому проаналізуємо існуючі порошки та на їх основі запропонуємо порошки з покращеними властивостями та способи їх подачі [4].

Для гасіння металів (калію, натрію, літію, магнію) використовуються порошкові склади ПС-1, ПС-2, оксид магнію. Порошок вогнегасний ПС-1 призначений для гасіння лужних металів при горінні: натрію, калію та їх евтектичних сумішей. Він являє собою суміш карбонату натрію з графітом і стеаратами важких металів [5]. Основою порошку є сода (95-96 %); кількість графіту, який покращує текучість, – 1-1,5 %; стеаратів металів (магнію, кальцію, цинку), які надають гідрофобних властивостей, – 0,5-3%. Вміст вологи у порошку повинен бути не більше 0,5%, насипна густина не ущільненого порошку 0,5-1,1 г/см<sup>3</sup>. Порошок по 20-50 кг запаковують в ламіновані або поліетиленові мішки, які вкладають в чотиришарові паперові та поміщають в дерев'яний ящик. Порошок необхідно берегти від сирості та зберігати в сухому провітрюваному приміщенні при температурі від –50 до +50 °С. Порошок ПС, герметично упакований у мішки, можна зберігати три роки; у вогнегасниках і стаціонарних установках – один рік з моменту завантаження. Після цього терміну його необхідно перевіряти відповідно до технічних умов. Через високу дисперсність порошок під час фасування і гасіння може утворювати велику кількість пороху. Гранично допустима концентрація порошку кальцієваної соди в перерахунку на каустичну соду – 0,5 мг/м<sup>3</sup>. Працювати з порошком слід у спеодязі та із захисними засобами, які не допускають його попадання в органи дихання і зору.

Порошок ПС-1 має добру текучість і високу вогнегасну ефективність. До осередку горіння його подають стиснутим повітрям або азотом. Азот широко використовується у вибухонебезпечних технологічних процесах для створення в апаратах і транспортних трубопроводах інертного середовища. Як вогнегасна речовина він застосовується для гасіння натрію, калію, берилію і кальцію. Але його не можна застосовувати для гасіння металів, здатних при з'єднанні з ним утворювати нітриди, що володіють вибуховими властивостями і чутливістю до удару. До числа таких металів відносяться магній, алюміній, літій, цирконій і деякі інші. Для гасіння цих металів застосовують аргон. Метал, який горить, засипають рівномірним шаром порошку із спеціальних насадок-заспокоювачів. Шар порошку на поверхні металу, що горить, утворює щільну кірку, яка ізолює його від кисню повітря [5].

В авторському свідоцтві [6] представлений порошок для гасіння лужних металів такого складу: кальцієвана сода (87,1-94,3%), стеаринова кислота (0,5-0,6%), стеарат алюмінію (0,9-1,0%), стеарат заліза або магнію (0,9-1,0%), графіт (0,9-1,0%), сірка (1,5-6,5%), поліетилен (1,5-6,5%).

Відомі способи гасіння металів шляхом обробки осередку пожежі вогнегасним засобом. В якості вогнегасних засобів відомо застосування [7] вогнегасних порошків на основі карбонату натрію (склад ПС ОСТ 6-18-175 -76 з вогнегасною здатністю 30-40 кг/м<sup>2</sup> палаючої поверхні), хлоридів калію і натрію (склад ПГС ТУ 18-18.0-78 з вогнегасною здатністю 25-30 кг/м<sup>2</sup>, склад ПХ ТУ 6-18-12.0-78 з вогнегасною здатністю 30-40 кг/м<sup>2</sup>), окису алюмінію (глинозем ГОСТ 6912-74 з вогнегасною здатністю 50 кг/м<sup>2</sup>).

Обробка вогнища пожежі цими складами забезпечує припинення горіння шляхом ізоляції поверхні металу від навколишнього повітря. Вибір компонентів вогнегасного засобу здійснюється виходячи з умови відсутності хімічних реакцій з палаючим металом.

Зазначені порошкові засоби гасіння мають недолік, що виражається в необхідності великої (від 25 до 50 кг/м<sup>2</sup>) їх витрати на гасіння 1 м<sup>2</sup> палаючої поверхні, оскільки при менших витратах тонкі шари цих порошкових складів не забезпечують формування ефективної газонепроникної поверхні.

Відомий спосіб гасіння палаючих металів шляхом обробки осередку пожежі вогнегасним засобом, в якому використовується терморозширений графіт або його комплекси, що розкладаються при температурі горіння з виділенням розширеного графіту [8]. Цей засіб забезпечує ізоляцію поверхні палаючого металу при мінімальних витратах, проте технологія його отримання має високу собівартість.

Відомий "Спосіб предотвращення воспламенения металлических порошков" [9], згідно з яким в якості вогнегасного засобу використовують порошок з суміші оксиду бору (95-50 мас. %) з високотемпературною добавкою, вибраною з ряду оксидів алюмінію, магнію, титану, кремнію. Цей склад ефективніший від відомих серійних складів, оскільки при нагріванні суміші її легкоплавкий компонент (оксид бору має температуру плавлення  $\sim 450$  °C), розплавляючись, формує газонепроникний шар, частинки оксиду в якому відіграють армуючу роль. Вогнегасна здатність такого складу вища, ніж у серійних вогнегасних порошків.

На відміну від відомого способу [10], в якому використовується вогнегасний засіб, що складається з суміші оксиду бору з високотемпературною добавкою, взятою в кількості 5-50 мас. %, в пропонованому способі використовується вогнегасний засіб, що складається з суміші ціанурату меламіну в кількості 10-60 мас. % з високотемпературною добавкою, взятою з ряду: оксидів (алюмінію, магнію, титану, кремнію), хлоридів (магнію, натрію, калію), нітрідів (бору, алюмінію, кремнію), графіту.

При гасінні металів із застосуванням запропонованого способу [10] наноситься на поверхню, що горить вогнегасний склад, який формує ефективну ізолюючу поверхню за рахунок розплавлення і розкладання ціанурату меламіну ( $t_{\text{розкладання}} - 380-420$  °C) на аміак, вуглекислий газ і мелем, який в свою чергу при температурі  $\sim 450$  °C розкладається на аміак і мелон, причому останній при температурах вище  $600$  °C також виділяє аміак і утворює негорючий обвуглений вуглецевий залишок (кокс). Всі реакції розкладання йдуть з поглинанням тепла, що в свою чергу призводить до додаткового охолодження поверхні горіння.

Утворені в зоні контакту вогнегасного складу з поверхнею горіння аміак і вуглекислий газ ізолюють поверхню горіння від надходження кисню повітря, чим збільшують ефективність пожежогасної дії шару, який формується з високотемпературної добавки і розплавлених продуктів розкладання ціанурату меламіну. Газоподібні продукти розкладання ціанурату меламіну, в разі виникнення тріщин в ізолюючому шарі і підсосу через ці тріщини навколишнього повітря в зону горіння, заповнюють ці тріщини і перешкоджають проникненню туди кисню повітря.

У разі, якщо температура аміаку, що виходить з ізолюючого шару перевищує температуру його займання ( $t_{\text{св}} - 650$  °C), аміак горить в повітрі з утворенням азоту і водяної пари, додатково зменшуючи концентрацію кисню в повітрі поблизу зони горіння.

Проведені експерименти показали [10], що кількість ціанурату меламіну в складі має перебувати в межах 10 - 60 мас. %, (кількість добавки – 40 - 90 мас. %). При меншій, ніж 10 мас. % кількості ціанурату меламіну, ізолююча дія складу є недостатньою. При більшій ніж 60 мас. % кількості ціанурату меламіну, горіння, що виходить із шару аміаку (якщо воно виникає), створює високе полум'я, що перешкоджає ефективному гасінню металу. Значна кількість теплоти, що виділяється при цьому, здатна спричинити займання горючих предметів, розташованих поза зоною горіння металу. У разі, якщо займання аміаку не відбувається, велика кількість аміаку, що виділяється, може негативно вплинути на навколишню атмосферу і самопочуття персоналу, що проводить гасіння.

В якості підтвердження вищесказаного наведено ряд прикладів [11].

Постановка експериментів: У товстостінний ( $\sim 10$  мм) сталевий круглий піддон діаметром 80 мм і глибиною 40 мм засипали алюмінієвий порошок масою 40 г. Зразок підпалювали від проміжного запалювального складу. Після того як 90-95 % площі поверхні зразка запалало, проводили гасіння. Досліджуваний склад насипали з совка на поверхню, що горить рівномірно. Визначалася витрата порошку і стан зразка через 10 хвилин після початку гасіння [11]. Таким чином, застосування складу з 10-60 мас. % ціанурату меламіну з високотемпературною добавкою полегшує гасіння палаючих металів. Наявність в складі ціанурату меламіну забезпечує зниження витрати необхідного складу в 1,5-2 рази в порівнянні з складами на основі зазначених високотемпературних добавок. Це дасть змогу підвищити ефективність використовуваних систем пожежогасіння металів завдяки збільшенню величини захищеної площі, до двох разів без зміни конструкції систем.

В якості високотемпературної добавки до цианурату меламіну можуть бути застосовані серійні вогнегасні порошки спеціального призначення, типу ПС, ПГС, ПХ, основою яких є карбонати і хлориди натрію і калію.

Вогнегасний порошок склад, в якому основним компонентом є хлорид калію (79%), а в якості цільової добавки для плинності використовується мусковит (20%), високодисперсна добавка (0,8%) і гідрофобізуюча рідина Петрос-2М (0,2%) [12], має здатність для гасіння пожеж класу Д.

Відомо, що при гасінні пожеж класу Д використовуються спеціальні порошки вогнегасних складів ПГС-3 і ПГС-М ТУ 6-46-016-92 та ТУ 6-18-42-86 відповідно, в яких в якості основного компонента використовується силвініт (суміш хлориду калію і хлориду натрію) в кількості 72,0-90,6% і 87,5%-98,5% відповідно.

Найбільш близьким за складом і призначенням є вогнегасний порошок, що містить, мас. %: біла сажа 3,5-5,0; алкілгалоїдсіланова рідина – метилтрихлорсилан 0,5-1,2; хлорид калію 93,8-96,0. Порошок використовують для гасіння пожеж класів А2, В, С, Д, Е [13].

Недоліками останнього аналога є використання білої сажі за ТУ 6-18-184-87 або ГОСТ 18307-78, вологість якої може досягати 6,5%, що потребує додаткової сушки, хоча і після сушки вологість білої сажі становить 4%. Біла сажа швидко набирає вологу, що може позначитися на злежуваності порошку в процесі зберігання, а в подальшому – на його текучості.

Завданням запропонованого винаходу є створення вогнегасного порошкового складу для ефективного гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою до 5000 В, який має знижену схильність до вологопоглинання і злежування (добру розсипчатість і сипучість).

Технічний результат досягається тим, що вогнегасний порошок склад містить хлорид калію 93,8-96,0 мас. %, алкілгалоїдсіланову рідину-метилтрихлорсилан 0,07 мас. %, мусковит 3,5-5 мас. % з розміром часток не більше 10 мкм. Компоненти змішують і одночасно обробляють гідрофобізатором – алкілгалоїдсілановою рідиною-метилтрихлорсиланом в паровій фазі для захисту від дії вологи.

Суть винаходу полягає в тому, що в якості технологічної добавки використовують мусковит з розміром часток не більше 10 мкм (для забезпечення питомої поверхні порошкового складу не менше 3000 см<sup>2</sup>/г). Мусковит є різновидом природного мінералу слюди і відомий як один з кращих електроізоляційних матеріалів. Пробивна напруга мусковіту при товщині шару 20 мкм становить 4,0 кВ, при товщині 50 мкм – 5,0 кВ. Питомий об'ємний опір мусковіту при 20 °С становить 1014-1016 Ом · см. Також мусковит має високу вологостійкість. Його вологість не перевищує 1%, в зв'язку з чим відпадає необхідність його сушіння. Вміст мусковіту має становити не менше 3,5% для забезпечення необхідної текучості і не більше 5% для забезпечення необхідної насипної щільності порошкового складу. Прийнятна плинність забезпечується доброю сипучістю порошку. При порівнянні якісних показників вогнегасного порошку, взятого за прототип [13] і запропонованого складу, а також технологічних добавок видно, що сам мусковит за якістю не поступається білій сажі (БС), а порошок склад з мусковітом за деякими показниками навіть кращий, ніж аналогічний склад з білою сажею. Визначено пробивну напругу у зразка з 5% мусковіту – 10500 В.

Таким чином, запропонований склад має добрі експлуатаційні властивості, високу вологостійкість і знижену злежуваність при тривалому зберіганні. Крім того, порошок склад може застосовуватися для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою понад 5000 В (з коефіцієнтом безпеки 2).

На основі проведеного аналізу авторських свідоцтв та патентів доходимо висновку, що гасіння магнію потребує нових вогнегасних складів. В якості вогнегасних речовин можна використати хлористий натрій, терморозширений графіт та оксид магнію. Отже, для встановлення вогнегасної ефективності запропонованих вогнегасних речовин проведемо лабораторні дослідження.

В якості пожежного навантаження використовуємо гранульований чистий магній та стружку сплаву магнію з якого виготовляють барабани коліс літаків. В лабораторній шафі на негорючій шамотній плиті викладаємо гранульований чистий магній та стружку сплаву магнію з якого виготовляють барабани коліс літаків. Стружку розміщуємо по всій площині плити. Готуємо три наважки. Відповідно гасіння магнію та його сплаву проводимо NaCl, MgO та терморозширеним графітом. Гасіння кожною вогнегасною речовиною проводимо від 3 до 4 разів. Налаштовуємо електронний стаціонарний пірометр марки «Смотрич 8» з межею вимірювання від 1000 до 2500 °С для визначення температури полум'я.

Підпалювання магнію та його сплаву здійснюємо газовим пальником. Температуру горіння фіксуємо та записуємо в табл. 1. Подання вогнегасної речовини здійснюємо з скляного мірного циліндра. Витрату та час гасіння заносимо в табл. 1.

**Таблиця 1**

*Результати гасіння магнію та його сплаву різними вогнегасними речовинами*

| № експерименту | Маса *наважки Mg, г | Вид вогнегасної речовини | **М в.р., г | Час гасіння, с | ***Т <sub>горіння</sub> , °С | S(площа) горіння магнієвих сплавів, см <sup>2</sup> |
|----------------|---------------------|--------------------------|-------------|----------------|------------------------------|---|
| 1              | 2                   | 3                        | 4           | 5              | 6                            | 7   |
| 1.             | 10 + 10             | NaCl                     | 85,1        | 12             | 970                          | 10x7  |
| 2.             | 10 + 10             | NaCl                     | 48,7        | 11             | 900                          | 14x6  |
| 3.             | 10 + 10             | NaCl                     | 116,2       | 11             | 928                          | 20x10   |
| 4.             | 10 + 15             | NaCl                     | 136,4       | 16             | 1155                         | 20x10   |
| 5.             | 10 + 15             | Графіт                   | 42,4        | 27             | 1046                         | 20x10   |
| 6.             | 10 + 15             | Графіт                   | 42,2        | 30             | 1030                         | 20x10   |
| 7.             | 10 + 15             | Графіт                   | 42,0        | 29             | 1038                         | 20x10   |
| 8.             | 10 + 15             | MgO                      | 49,5        | 34             | 950                          | 20x10   |
| 9.             | 10 + 15             | MgO                      | 50,5        | 36             | 972                          | 20x10   |
| 10.            | 10 + 15             | MgO                      | 50,0        | 35             | 961                          | 20x10   |

\* Наважка складається з двох компонентів: перша цифра гранульований чистий магній, друга – сплав магнію з якого відливають барабани коліс до літаків.

\*\* Маса вогнегасної речовини витраченої на гасіння магнієвих сплавів в грамах.

\*\*\* Температура горіння при якій починали гасіння.

Проведено чотири експерименти з гасіння сплавів магнію NaCl. У всіх випадках досягнуто гасіння. Результати записані в табл. 1. Повторних займань не відбувалось, догорання магнію та його сплаву не спостерігалось. Час гасіння мінімальний.

Терморозширений графіт погасив горіння магнію та його сплаву. Деякий час спостерігалась висока температура, догорання (тління) магнію.

Після гасіння MgO спостерігається явище його вигорання. Шар вогнегасної речовини прогорає, з'являються окремі язички полум'я, тому доходимо висновку, що гасіння не було досягнуто.

Гасіння магнію та його сплаву за допомогою хлористого натрію наведено на рис. 1.

Масова витрата вогнегасних речовин та інтенсивність подавання наведені в табл. 2. Середній час гасіння терморозширеним графітом ( $t_{\text{гасіння сер}}$ ) становить 28,5 с.





а



б

**Рисунок 1** – Гасіння магнію та його сплавів за допомогою хлористого натрію:  
а – гасіння; б – ліквідація горіння

Відносна похибка в другому та третьому експерименті (табл. 2) при гасінні NaCl становила більше 25%. Тому результати цих експериментів не будуть враховані в подальших розрахунках.

Інтенсивність подавання

$$I_{\text{подавання}} = G/t,$$

де  $G$  – загальна кількість вогнегасної речовини, що витрачається під час гасіння пожежі на одиницю розрахункового параметра пожежі,  $\text{г/см}^2$ ;  $t$  – час гасіння пожежі, с.

Терморозширений графіт погасив сплави магнію. Під шаром графіту більше 0,5 см горіння припиняється, але набагато повільніше ніж при гасінні NaCl.

**Таблиця 2**

*Масова витрата вогнегасної речовини та інтенсивність подавання*

| № з/п | Вид вогнегасної речовини | $t_{\text{гасіння}}$ , с | $G_{\text{подавання}}$ , $\text{г/см}^2$ | $I_{\text{подавання}}$ , $\text{г/см}^2 \cdot \text{с}$ | $t_{\text{гасіння}}$ сер., с | $G_{\text{подавання}}$ сер., $\text{г/см}^2$ | Дисперсія | Сер. квадратичне відх. | Абсол. пох. | Віднос. пох., % |
|-------|--------------------------|--------------------------|--|---|------------------------------|--|-----------|------------------------|-------------|-----------------|
| 1     | 2                        | 3                        | 4  | 5   | 6                            | 7  | 8         | 9                      | 10          | 11              |
| 1.    | NaCl                     | 12                       | 0,61                                     | 0,05  | 20,5                         | 0,66   | 0,076     | 0,28                   | 0,05        | 7,22            |
| 2.    | NaCl                     | 11                       | 0,38                                     | 0,035   |                              |  |           |                        | 0,28        | 42,21           |
| 3.    | NaCl                     | 11                       | 1,04                                     | 0,095   |                              |  |           |                        | 0,38        | 58,17           |
| 4.    | NaCl                     | 16                       | 0,6                                      | 0,0375  |                              |  |           |                        | 0,06        | 8,75            |
| 5.    | Графіт                   | 27                       | 0,211                                    | 0,0078  | 28,5                         | 0,21   | 0         | 0                      | 0           | 0               |
| 6.    | Графіт                   | 30                       | 0,211                                    | 0,007   |                              |  |           |                        | 0           | 0               |
| 7.    | Графіт                   | 28,5                     | 0,211                                    | 0,0074  |                              |  |           |                        | 0           | 0               |

MgO – не погасив вогнище

**Таблиця 3**

*Зведені результати інтенсивності подавання вогнегасних речовин та масові їх витрати*

| № з/п | Вид вогнег. реч. | $t_{\text{гасіння}}$ , с | $G_{\text{подавання}}$ , $\text{г/см}^2$ | $I_{\text{подавання}}$ , $\text{г/см}^2 \cdot \text{с}$ | $t_{\text{гасіння}}$ сер., с | $G_{\text{подавання}}$ сер., $\text{г/см}^2$ | Дисперсія | Сер. квадр. відхил. | Абсол. пох. | Віднос. пох., % |
|-------|------------------|--------------------------|--|---|------------------------------|--|-----------|---------------------|-------------|-----------------|
| 1.    | NaCl             | 12                       | 0,61                                     | 0,05  | 14                           | 0,605  | 0,00005   | 0,00707             | 0,01        | 0,83            |
| 2.    | NaCl             | 16                       | 0,6                                      | 0,0375  |                              |  |           |                     | 0,01        | 0,83            |
| 3.    | Графіт           | 27                       | 0,211                                    | 0,0078  | 28,5                         | 0,21   | 0         | 0                   | 0           | 0               |
| 4.    | Графіт           | 30                       | 0,211                                    | 0,007   |                              |  |           |                     | 0           | 0               |
| 5.    | Графіт           | 28,5                     | 0,211                                    | 0,0074  |                              |  |           |                     | 0           | 0               |

З результатів вказаних в табл. 3 ми бачимо, NaCl середню масову витрату має 0,605 г/см<sup>2</sup>, за цим показником проведені розрахунки дисперсії і середньоквадратичного відхилення, відносної та абсолютної похибки. Інтенсивність подавання хлориду натрію становить 0,044 г/см<sup>2</sup>·с, середній час гасіння – 14 с. Графіт аналогічне вогнище погасив за 28,5 с, а інтенсивність подавання становила 0,0072 г/см<sup>2</sup>·с, при масовій витраті 0,21 г/см<sup>2</sup>. Але тління в деяких осередках тривало довше при гасінні графітом. Це можна пояснити фізико-хімічними властивостями графіту.

Орієнтуючись на вартість вогнегасних речовин табл. 4 найкраще використовувати хлорид натрію та терморозширений графіт.

**Таблиця 4**

*Вартість використаних вогнегасних речовин*

| № з/п | Назва порошку | Вартість 1 г (коп.) | Використано (г) | Загальна вартість (грн) |
|-------|---------------|---------------------|-----------------|-------------------------|
| 1     | NaCl          | 3                   | 96              | 2,88                    |
| 2     | C(графіт)     | 13                  | 42,4            | 5,52                    |
| 3     | MgO           | 172                 | 50              | 86                      |

**Висновки.** Після гасіння магнієвих сплавів оксидом магнію, спостерігається явище вигорання MgO. Шар вогнегасної речовини прогорає, з'являються окремі язички полум'я, тому приходимо до висновку, що не було досягнуто ефекту гасіння і в подальшому недоцільно використовувати його як окремий компонент вогнегасного порошку.

NaCl середню масову витрату має 0,605 г/см<sup>2</sup>, інтенсивність подавання хлориду натрію становить 0,044 г/см<sup>2</sup>·с, середній час гасіння – 14 с. Графіт аналогічне вогнище погасив за 28,5 с, а інтенсивність подавання складала 0,0072 г/см<sup>2</sup>·с, при масовій витраті 0,21 г/см<sup>2</sup>. Але тління в деяких осередках тривало довше при гасінні графітом. Як бачимо, ефект гасіння було досягнуто цими двома речовинами.

Гасіння магнію та його сплавів належить до класу Д1, отже ці речовини будуть гасити і інші метали, що належать до легких металів цього класу. Надалі планується дослідження цих та інших речовин та на їх основі створення вогнегасного порошку з покращеними властивостями для гасіння легких металів, зокрема магнію та його сплавів.

#### Список літератури:

1. Проблеми гасіння магнію та його сплавів / В. В. Ковалишин, О. Л. Мірус, В. М. Марич та ін. // Пожежна безпека : зб. наук. пр. – Л. : ЛДУБЖД, 2016. – № 28. – С. 58-63.
2. Справочник «Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения» / А. Н. Баратова, А. Я Корольченко / книга первая, Москва «Химия», 1990. – 495 с.
3. Глосарій термінів з хімії / Й. Опейда, О. Швайка, Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет – Донецьк : Вебер, 2008. – 758 с.
4. <http://autocarta.ru/other/gorenie-i-tushenie-metallov-i-gibridov-metallov.html>.
5. Пожарная безопасность веществ и материалов, применяемых в химической промышленности. Справочник. Издательство «Химия», М., 1970 г. – 336 с.
6. Авторское свидетельство №544437, кл. 2 А 62D 1/00; А 62С 3/06, 1977
7. Баратов А. Н. Огнетушащие порошковые составы / А. Н. Баратов, Л. П. Вогман. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.
8. Авторское свидетельство СССР "Способ тушения металлов", № 686598, опубл. 15.09.79, кл. А 62 D 1/00.
9. Авторское свидетельство 1690794, кл. А 62 D 1/00.
10. Патент РФ № 2119368 А62D1/00, 1998 г.

11. Технический отчет "Исследование возможности тушения порошка алюминия порошковыми составами, содержащими глинозем" ГосНИИМАШ, г. Дзержинск, Нижегородской обл., 1994, 10 с. (1 этап), 1995 – 7 с. (2 этап).
12. Патент РФ № 2143297 А62D1/00, 1999 г.
13. Патент РФ №2128538, МПК А62D 1/00, з. 02.07.1997 г.

#### References:

1. Kovalyshyn, V.V., Mirus, O.L. et al. (2016). The problems of magnesium and its alloys extinguishing. *Pozhezhna bezpeka : zb. nauk. pr. (Fire safety : sci. res. j.)*, 28, 58-63, Ukraine.
2. *Pozharo-vzrivopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: Spravochnik* [Fire and highly explosive substances and materials and their means of extinguishing: Directory] (1990). A.N. Baratova, A.Ya. Korol'chenko, Khimiya, Moscow, USSR.
3. *Glosarij terminiv z himii'* [Glossary of Chemistry]. J. Opejda, O. Shvajka (2008). In-t fizyko-organichnoi' himii' ta vuglehimii' im. L. M. Lytvynenka NAN Ukrai'ny, Donec'kyj nacional'nyj universytet, Donec'k, Veber, Ukraine.
4. Osobennosti gorenija i tusheniya metallov i gidridov metallov [Features of burning and extinguishing of metals and metal hydrides] (2016). Retrieved from <http://autocarta.ru/other/gorenie-i-tushenie-metallov-i-gibridov-metallov.html>, Russia.
5. *Pozharnaja bezopasnost' veshhestv i materialov, primenjaemyh v himicheskoj promyshlennosti : Spravochnik* [Fire safety of substances and materials used in the chemical industry : Directory] (1970). Izdatel'stvo Himija, Moscow, USSR.
6. Avtorskoe svidetel'stvo №544437, kl. 2 A 62D 1/00; A 62C 3/06, 1977.
7. Baratov A.N. & Vogman L.P. (1982), *Ognetushashhie poroshkovye sostavy* [Extinguishing powder formulations], Strojizdat, Moscow, USSR.
8. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR "Sposob tusheniya metallov", № 686598, opubl. 15.09.79, kl. A 62 D 1/00.
9. Avtorskoe svidetel'stvo 1690794, kl. A 62 D 1/00.
10. Patent RF № 2119368 А62D1/00, 1998.
11. *Issledovanie vozmozhnosti tusheniya poroshka aljuminija poroshkovymi sostavami, sodержashhimi glinozem* [Study the possibility of extinguishing powder, aluminum powder containing alumina]. Tehnicheskij otchet. GosNIIMASh, g. Dzerzhinsk, Nizherogodskoj obl., 1994, 10 s. (1 jetap), 1995 – 7 s. (2 jetap).
12. Patent RF № 2143297 А62D1/00, 1999.
13. Patent RF №2128538, МПК А62D 1/00, з. 02.07.1997.

