

Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності

ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

*збірник
наукових праць*





МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ УКРАЇНСЬКОЮ,
АНГЛІЙСЬКОЮ, НІМЕЦЬКОЮ
ТА ПОЛЬСЬКОЮ
МОВАМИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

**ПОЖЕЖНА
БЕЗПЕКА**

ЛДУ БЖД

№ 32, 2018

заснований у 2002 році

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

- д-р пед. наук **Козяр М.М.** – головний редактор
д-р с-г. наук **Кузик А.Д.** – заступник головного редактора
д-р техн. наук **Ковалишин В.В.** – науковий редактор
д-р техн. наук **Антонов А.В.**
канд. техн. наук **Баланюк В.М.**
д-р інж. **Єжи Волянін**
д-р інж. **Даріуш Врублевський**
д-р техн. наук **Гащук П.М.**
д-р техн. наук **Гуліда Е.М.**
д-р техн. наук **Демчина Б.Г.**
канд. пед. наук **Коваль М.С.**
д-р техн. наук **Костенко В.К.**
д-р техн. наук **Круковський П.Г.**
канд. техн. наук **Лозинський Р.Я.**
д-р хім. наук **Михалічко Б.М.**
д-р техн. наук **Пашковський П.С.**
д-р фіз.-мат. наук **Тацій Р.М.**

ISSN 2078-6662

DOI: 10.32447/20786662.32.2018.00

ЗАСНОВНИК ТА ВИКОНАВЕЦЬ Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності (ЛДУ БЖД)

ЗАРЕЄСТРОВАНО Державною реєстраційною службою України
14. 07. 2014 р. Серія КВ №20916-10716 ПР

ВНЕСЕНО ДО ПЕРЕЛКУ НАУКОВИХ ФАХОВИХ ВИДАНЬ УКРАЇНИ
Наказ МОН України від 06.11. 2014 року № 1279)

ВНЕСЕНО ДО БІБЛОГРАФІЧНОЇ БАЗИ ДАНИХ
«ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY»

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ЛДУ БЖД
(Протокол № 10 від 08. 06. 2018 р.)

Літературний редактор Падик Г.М.
Редактор англійської мови Хлевой О.В.
Технічний редактор Сорочич М.П.
Комп'ютерна верстка Хлевой О.В.
Відповідальний за друк Фльорко М.Я.
Друк на різнографі Трачук О.В.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007
Контактні телефони: (032) 233-24-79, тел/факс 233-00-88
E-mail: mail@ubgd.lviv.ua, pb_zbirnyk@i.ua

Збірник наукових праць "Пожежна безпека" видається з 2002 року. Запланована періодичність 2 рази на рік. Тематична спрямованість: оригінальні та оглядові праці в галузі технічних наук з напрямку пожежна безпека.

Здано в набір 08. 06. 2018. Підписано до друку 11. 06. 2018.

Формат 60x84^{1/2}. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 7,5.

Гарнітура Times New Roman. Друк на різнографі.

Наклад: 100.

Друк: ЛДУ БЖД
вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

**Т. М. Войтович, Б. М. Гусар,
В. В. Ковалишин, В. В. Кошеленко,
О. В. Грушовінчук**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ
ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ "ПІД-
ШАРОВОГО" ГАСІННЯ

5

**T. M. Voitovych, B. M. Husar,
V. V. Kovalyshyn, V. V. Koshelenko,
O. V. Hrushovinchuk**
RESEARCH ON DOMESTICALLY
PRODUCED FIRE-FIGHTING FOAM
AGENTS FOR SUBSURFACE FIRE
EXTINGUISHING

Е. М. Гуліда
РОЗПОДІЛ БАЛАНСУ ТЕПЛОВОЇ
ЕНЕРГІЇ ПОЖЕЖІ В ЗАКРИТОМУ
ПРИМІЩЕННІ

15

E. M. Hulida
DISTRIBUTION OF THERMAL
BALANCE DURING FIRES
IN CLOSED ROOMS

С. О. Ємельяненко
ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
КОМП'ЮТЕРНИХ ТРЕНАЖЕРІВ
ДЛЯ АВАРІЙ НА ХІМІЧНО НЕБЕЗ-
ПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ

22

S. Yemelyanenko
TECHNOLOGIES AND COMPUTER
SIMULATORS FOR TASK TRAINING
DURING CHEMICAL EMERGENCIES

**В. М. Ковальчик, О. В. Лазаренко,
Р. В. Кіндзер, Р. Ю. Сукач**
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ
РОЗГАЛЬМУВАННЯ
АЦ-4-60(5309)-505М

27

**V.M. Kovalchik, O.V. Lazarenko, R.V.
Kindzer, R.Yu. Sukach**
IMPROVEMENT OF THE BRAKE
RELEASE SYSTEM OF THE PUMPER
АЦ-4-60(5309)-505М

**В. В. Ковалишин, Я. Б. Кирилів,
О. В. Грушовінчук**
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ
ВЗАЄМОДІЇ СТРУМЕНІВ
ПОВІТРЯНО-МЕХАНІЧНОЇ ПІНИ
РІЗНОЇ КРАТНОСТІ ПІД ЧАС ЇХ
ПОЛЬОТУ

32

**V. V. Kovalyshyn, Ya. B. Kyryliv,
O. V. Hrushovinchuk**
IMPROVEMENT OF THE BRAKE RE-
LEASE SYSTEM OF THE PUMPER
АЦ-4-60(5309)-505М

С. Я. Кравців
МЕТОД УПРАВЛІННЯ
ІНТЕГРАЛЬНИМ ПОЖЕЖНИМ
РИЗИКОМ

39

S.Ya. Kravtsiv
METHOD OF INTEGRATED FIRE
RISK MANAGEMENT

**В. М. Марич, В. В. Ковалишин,
Я. Б. Кирилів, В. М. Ковальчик,
Б. М. Гусар**
ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ
ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ
ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСУ Д1

45

**V. M. Marych, V. V. Kovalyshyn,
Ya. B. Kyryliv, V. M. Koval'chik,
B. M. Gusar**
OPTIMIZATION OF THE DRY
CHEMICAL POWDERS'
COMPOSITION FOR CLASS D1 FIRES
EXTINGUISHING

*В. М. Марич, В. В. Ковалишин, д-р техн. наук, професор,
Я. Б. Кирилів, канд. техн. наук, ст. наук співр.,
В. М. Ковальчик, канд. техн. наук, Б. М. Гусар*
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСУ Д1

Показано на основі проведених досліджень, що найкраще себе зарекомендував в якості вогнегасної речовини хлорид натрію. З метою надання йому властивостей вогнегасного порошку до нього додано ще два компоненти, а саме мелений шлак та аеросил базуючись на їх фізико-хімічних властивостях. Встановлено оптимальний склад вогнегасного порошку на підставі проведених експериментів та побудованих залежностей, про що свідчать відповідні параметри гасіння. Покращено властивості вогнегасного порошку додаванням меленого шлаку та аеросилу, які надають вогнегасному порошку термостійкості, ізолювальної і антизлежувальної здатності, текучості та вогнегасної ефективності. Встановлено, що оптимальним є вогнегасний порошок у такому складі: хлорид натрію – 73,5 %, мелений шлак – 25 % та аеросил – 1,5 %. Побудовано дослідно-емпіричну залежність для визначення інтенсивності гасіння в залежності від параметрів гасіння та вогнегасного складу.

Ключові слова: вогнегасний порошок, хлорид натрію, мелений шлак, аеросил, інтенсивність подання, дослідно-емпірична залежність.

*V. M. Marych, V. V. Kovalyshyn, Ya. B. Kyryliv,
V. M. Koval'chuk, B. M. Gusar, V. V. Koshelenko*

OPTIMIZATION OF THE DRY CHEMICAL POWDERS' COMPOSITION FOR CLASS D1 FIRES EXTINGUISHING

During the researches, carried out in the article, sodium chloride recommended itself as the best fire-extinguishing substance. In order to give it the properties of a fire extinguishing powder, two more components were added to it, namely ground slag and aerosil. These components were chosen according to their physical and chemical properties. As evidenced by the corresponding quenching parameters, the optimal composition of the fire extinguishing powder was established on the basis of performed experiments and obtained dependences. The properties of the fire extinguishing powder were improved by adding ground slag and aerosil. These additives increase the heat resistance, insulating and anti-caking ability, fluidity and fire-extinguishing efficiency of the powder. The best results were obtained after using the extinguishing powder of such composition: sodium chloride - 73.5%, ground slag - 25%, aerosil - 1.5%. Experimental-empirical dependence for determination the extinguishing intensity according to the extinguishing parameters and the fire-extinguishing composition was developed.

Key words: fire extinguishing powder, sodium chloride, ground slag, aerosil, application rate, experimental-empirical dependence.

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/м³. Займається від іскор та полум'я [1, 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.

*В. М. Марич, В. В. Ковалишин, д-р техн. наук, професор,
Я. Б. Кирилів, канд. техн. наук, ст. наук співр.,
В. М. Ковальчик, канд. техн. наук, Б. М. Гусар
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСУ ДІ

Показано на основі проведених досліджень, що найкраще себе зарекомендував в якості вогнегасної речовини хлорид натрію. З метою надання йому властивостей вогнегасного порошку до нього додано ще два компоненти, а саме мелений шлак та аеросил базуючись на їх фізико-хімічних властивостях. Встановлено оптимальний склад вогнегасного порошку на підставі проведених експериментів та побудованих залежностей, про що свідчать відповідні параметри гасіння. Покращено властивості вогнегасного порошку додаванням меленого шлаку та аеросилу, які надають вогнегасному порошку термостійкості, ізоляційної і антизлежувальної здатності, текучості та вогнегасної ефективності. Встановлено, що оптимальним є вогнегасний порошок у такому складі: хлорид натрію – 73,5 %, мелений шлак – 25 % та аеросил – 1,5 %. Побудовано дослідно-емпіричну залежність для визначення інтенсивності гасіння в залежності від параметрів гасіння та вогнегасного складу.

Ключові слова: вогнегасний порошок, хлорид натрію, мелений шлак, аеросил, інтенсивність подання, дослідно-емпірична залежність.

*V. M. Marych, V. V. Kovalyshyn, Ya. B. Kyryliv,
V. M. Koval'chuk, B. M. Gusar, V. V. Koshelenko*

OPTIMIZATION OF THE DRY CHEMICAL POWDERS' COMPOSITION FOR CLASS D1 FIRES EXTINGUISHING

During the researches, carried out in the article, sodium chloride recommended itself as the best fire-extinguishing substance. In order to give it the properties of a fire extinguishing powder, two more components were added to it, namely ground slag and aerosil. These components were chosen according to their physical and chemical properties. As evidenced by the corresponding quenching parameters, the optimal composition of the fire extinguishing powder was established on the basis of performed experiments and obtained dependences. The properties of the fire extinguishing powder were improved by adding ground slag and aerosil. These additives increase the heat resistance, insulating and anti-caking ability, fluidity and fire-extinguishing efficiency of the powder. The best results were obtained after using the extinguishing powder of such composition: sodium chloride - 73.5%, ground slag - 25%, aerosil - 1.5%. Experimental-empirical dependence for determination the extinguishing intensity according to the extinguishing parameters and the fire-extinguishing composition was developed.

Key words: fire extinguishing powder, sodium chloride, ground slag, aerosil, application rate, experimental-empirical dependence.

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/м³. Займається від іскор та полум'я [1, 2].

Хімічні властивості магнію досить своєрідні. Він легко забирає кисень і хлор у більшості елементів, не боїться ідких 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].

Найбільш 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).

На сьогодні найбільш поширені для гасіння пожеж класу Д1 ВПСП на основі хлоридів лужних металів. 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 (кг/м^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 проведено попередні лабораторні дослідження [5, 6]. На основі цих досліджень встановлено, що найкраще використовувати в якості вогнегасної речовини хлорид натрію.

Гасіння магнію та його сплавів належить до класу Д1, отже ці речовини будуть гасити і інші метали, що належать до легких металів цього класу. Тому плануємо дослідження складів вогнегасних порошоків на основі хлориду натрію та інших речовин та на їх основі створення вогнегасного порошку з покращеними властивостями для гасіння легких металів, зокрема магнію та його сплавів.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження складів вогнегасних порошоків на основі хлориду натрію з добавкою меленого шлаку та аеросилу і встановлення оптимального складу у відсотковому відношенні для гасіння пожеж легких металів на прикладі магнію та його сплавів.

Методи 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 вогнегасною речовиною, яка складається з суміші NaCl, меленого шлаку та аеросилу. Гасіння кожною вогнегасною речовиною проводимо від 3 до 4 разів.

Підпалювання магнію та його сплаву здійснюємо газовим пальником. Після того як 90-95 % площі поверхні зразка запалало, проводимо гасіння. Подавання вогнегасної речовини здійснюємо з скляного мірного циліндра. Досліджуваний склад насипали на поверхню, що горить рівномірно.

При описанні впливу параметрів процесу гасіння та вогнегасного складу порошку на показники ефективності гасіння і продуктивності процесу при різних складах вогнегасного порошку, близької до оптимуму моделі 1-го порядку, переважно не придатні. Для цього дуже часто приходиться використовувати поліноміальні моделі другого порядку. Однак дослідник заздалегідь не знає ні виду поверхні відгуку, ні області, в якій знаходиться оптимум. Тому при плануванні експерименту завжди намагаються використовувати плани, які характеризують отримання максимальної інформації при самих несприятливих умовах і при порівняно невеликій кількості дослідів, тобто оцінюють оптимальність цих планів за різними критеріями.

Встановлено [7 – 9], що плани повних факторних експериментів типу 2^k , дробових факторних експериментів типу 2^{k-p} і плани на основі матриць Адамара відносяться до найбільш ефективних при побудові лінійних моделей і задовольняють як критеріям ортогональності, симетричності, нормування, рототабельності, так і критеріям D-, G-, A- і E- оптимальності, при яких відповідно мінімізується об'єм еліпсоїда розсіювання оцінок параметрів, максимальне значення дисперсії оцінки поверхні відгуку, середня дисперсія оцінок коефіцієнтів і максимальне власне значення коваріаційної матриці.

При переході до побудови моделей 2-го порядку вибір оптимальних планів помітно ускладнюється, так як ці плани не відповідають одночасно декільком важливим критеріям оптимальності. Так, наприклад, при виконанні критерія ортогональності в планах 2-го порядку порушуються вимоги нормування і рототабельності, тобто цей критерій є недостатнім [9]. Більш потужним критерієм для планів 2-го порядку є критерій рототабельності, котрий забезпечує не тільки отримання симетричних інформаційних контурів, але і вельми близький до ортогональності і дозволяє мінімізувати систематичні помилки, зв'язані з неадекватним представленням результатів експерименту моделями 2-го порядку.

Тому в кожному конкретному випадку, враховуючи мету і умови експерименту, дослідник повинен сформулювати критерій оптимальності і вибрати для його реалізації такий план, котрий би найбільш повно задовольняв цим вимогам.

Для вивчення основних факторів пожежогасіння на параметри гасіння магнію та його сплаву (інтенсивність гасіння) вогнегасними складами в процесі гасіння і побудови математичних моделей у вигляді поліноміальних залежностей другого порядку доцільно використовувати метод факторного планування із використанням плану 3^k [10]. Так як практичне використання факторного експерименту для отримання цих моделей при числі незалежних змінних $k \geq 4$ затруднено із-за великої кількості дослідів, то запропоновані композиційні плани. Вони отримуються на основі додавання до дослідів планів 1-го порядку типу 2^{k-p} ($k-p \geq 2$ при $p = 0, 1, \dots$) зоряних і нульових точок. При цьому загальне число необхідних експериментів ($N = 2^{k-p} + 2k + n_0$) різко зменшується, бо переважно приймають $n_0 = 1$. Для практичного використання композиційних планів необхідно встановити значення плеча зоряних точок і число нульових точок. Вибір проводиться виходячи із вибраного критерія оптимальності планування.

Перелік факторів [10], що впливають на контрольовані параметри процесу гасіння вогнегасного порошку, попередньо встановлений на основі аналізу літературних даних. Для різних напрямів експериментальних досліджень остаточний вибір факторів варіювання проводять на підставі їх незалежності, детермінованості та значущості, що встановлювалися згідно з результатами попередніх експериментів. Факторами, що визначають інтенсивність подачі вогнегасного порошку при гасінні магнію та його сплавів, витрата вогнегасного порошку G , час гасіння t та склад вогнегасної речовини C .

Викладення основного матеріалу.

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 Д1 [11] 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 насадко-заспокоювача при подачі ВПСП необхідно при гасінні порошків металів і їх гідридів, при цьому практично не допускається утворення аерозависі вогнегасного порошку [4].

В якості вогнегасних речовин можна використати хлористий натрій, терморозширений графіт та оксид магнію. Отже, для встановлення вогнегасної ефективності запропонованих вогнегасних речовин було проведено лабораторні дослідження. Відповідно було попередньо проведено чотири експерименти з гасіння сплавів магнію NaCl [5, 6]. У всіх випадках досягнуто гасіння. 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 [5, 6].

Як видно з літературних джерел [2, 5, 6] та попередньо проведених досліджень найкраще себе зарекомендував в якості вогнегасної речовини хлорид натрію. З метою надання йому властивостей вогнегасного порошку додано ще два компоненти, а саме мелений шлак та аеросил базуючись на їх фізико-хімічних властивостях. Введення до вогнегасного порошку тонко здрібненого шлаку менше за 50 мкм і набагато більшою щільністю дозволяє поліпшити гранулометричний склад порошку, збільшивши при цьому його питому щільність (табл. 1). Оскільки, загальним недоліком складів порошків є низька питома щільність, що негативно впливає на його плинність (висока плинність порошку необхідна для створення оптимальної концентрації вогнегасного засобу за одиницю часу в

Таблиця 1

Склад доменного шлаку, %

FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	CaO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO
1	9	18	1	45	5	—	11

зоні горіння). Чим нижче питома щільність порошку, тим більша його кількість відноситься з зони горіння висхідними потоками гарячого повітря, так і не прийнявши участі в процесі гасіння. Крім того, чим вище питома щільність порошку, тим далі викид його з вогнегасника, що дає можливість операторові знаходитися на більш далекій відстані від вогнища горіння, чим при застосуванні порошку з більш низькою питомою щільністю. Істина густина шлаку становить 2,94 г/см³ Висока об'ємна маса шлаку та його висока термостійкість дозволяє добре ізолювати горючий метал від навколишнього середовища.

Аеросил володіє властивостями антизлежувача сипучих матеріалів. Введення його в порошкові вогнегасні суміші підвищує текучість і вогнегасну ефективність порошків в 6-7 раз. Відповідно було проведено 15 експериментів з хлоридом натрію в межах від 57,5 до 78,5 %, меленого шлаку – від 20 до 40 % та аеросилу – від 1,5 до 2,5 %. На основі цих експериментів встановлено оптимальне співвідношення хлориду натрію – 73,5 %, меленого шлаку – 25 % та аеросилу – 1,5 %. З рис. 1 видно, як змінюється від співвідношення компонентів вогнегасного порошку інтенсивність гасіння та оптимальна його величина. Отже, використання вогнегасного порошку за оптимальної інтенсивності гасіння наведеної в табл. 2 експеримент №2 має забезпечити найкращу ефективність гасіння. Витрату вогнегасних речовин, час гасіння, час горіння, інтенсивність подачі фіксуємо та записуємо в табл. 2.

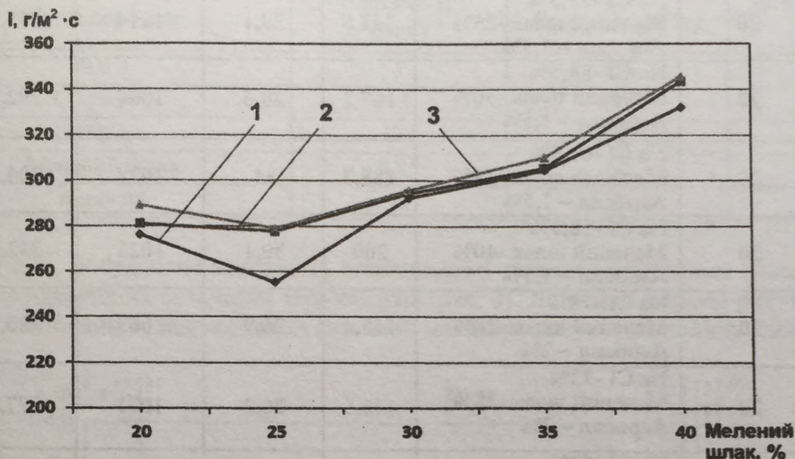


Рисунок 1 – Залежність інтенсивності гасіння від вмісту меленого шлаку та NaCl в межах від 57,5 до 78,5% при: 1 – 1,5%; 2 – 2,0%; 3 – 2,5% аеросилу

Як видно з рис. 1 та 2 менша кількість аеросилу краще впливає на процес гасіння, а саме на інтенсивність гасіння та витрату вогнегасної речовини.

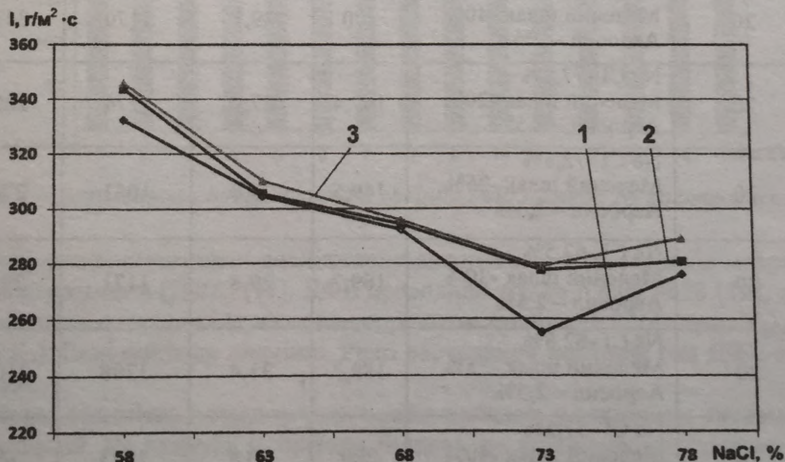


Рисунок 2 – Залежність інтенсивності гасіння від вмісту NaCl та меленого шлаку в межах від 25 до 40% при: 1 – 1,5%; 2 – 2,0%; 3 – 2,5% аеросилу

Таблиця 2

Результати гасіння магнію та його сплаву різними вогнегасними складами,
які містять хлорид натрію, мелений шлак та аеросил

№ з/п експерименту	Вага наважки Mg	Вид вогнегасної речовини	Ст. в.р., грам	t, с час гасіння	T горіння	I, г/м ² *с	S вог. см ²
1	2	3	4	5	6	7	8
1	20	Na Cl -78,5% Мелений шлак -20% Аеросил - 1,5%	157,4	28,5	1034	276,1	20x10
2	20	Na Cl -73,5% Мелений шлак -25% Аеросил - 1,5%	148,5	29,1	1114	255,2	20x10
3	20	Na Cl -68,5% Мелений шлак -30% Аеросил - 1,5%	167,2	28,6	1030	292,3	20x10
4	20	Na Cl -63,5% Мелений шлак -35% Аеросил - 1,5%	188,7	31	1038	304,4	20x10
5	20	Na Cl -58,5% Мелений шлак -40% Аеросил - 1,5%	200	30,1	1023	332,2	20x10
6	20	Na Cl -78% Мелений шлак -20% Аеросил - 2%	155,4	26,9	1063	280,8	20x10
7	20	Na Cl -73% Мелений шлак -25% Аеросил - 2%	146,5	26,2	1071	277,6	20x10
8	20	Na Cl -68% Мелений шлак -30% Аеросил - 2%	162,6	28,6	1160	294,3	20x10
9	20	Na Cl -63% Мелений шлак -35% Аеросил - 2%	182,4	30	1232	305,3	20x10
10	20	Na Cl -58% Мелений шлак -40% Аеросил - 2%	200	29,1	1170	343,6	20x10
11	20	Na Cl -77,5% Мелений шлак -20% Аеросил - 2,5%	157,4	27,9	1274	289,1	20x10
12	20	Na Cl -72,5% Мелений шлак -25% Аеросил - 2,5%	149,5	26,8	1061	278,9	20x10
13	20	Na Cl -67,5% Мелений шлак -30% Аеросил - 2,5%	169,7	29,8	1171	295,7	20x10
14	20	Na Cl -62,5% Мелений шлак -35% Аеросил - 2,5%	189,7	31,4	1208	310,07	20x10
15	20	Na Cl -57,5% Мелений шлак -40% Аеросил - 2,5%	200	30,8	1073	345,7	20x10

Орієнтуючись на вартість вогнегасних речовин табл. 3 найкраще використовувати хлорид натрію, мелений шлак та аеросил. Грам такої вогнегасної речовини коштує 2,39 коп., тоді як NaCl – 3 коп., С (графіт) – 13 коп., MgO – 172 коп. Навіть з урахуванням того, що графіту використовується дещо меншу кількість в загальному застосування вогнегасної речовини з хлориду натрію, меленого шлаку та аеросилу є кращим, як в якості вогнегасної речовини так і з економічної точки зору.

Таблиця 3

Вартість використаних вогнегасних речовин

№ з/п	Назва порошку	Вартість 1г (коп.)	Використано (г)	Загальна вартість (грн)
1	NaCl	3	136	4,08
2	С(графіт)	13	42,4	5,52
3	MgO	172	50	86
4	Мелений шлак	0,05	60	0,03
5	Аеросил	11	4	0,44

Крім того, побудовано залежність інтенсивності гасіння вогнегасним складом в залежності від співвідношення складових компонентів (рис. 3). Як видно з цього рисунка найефективнішим вогнегасним складом є склад №2, який має найменшу інтенсивність гасіння.

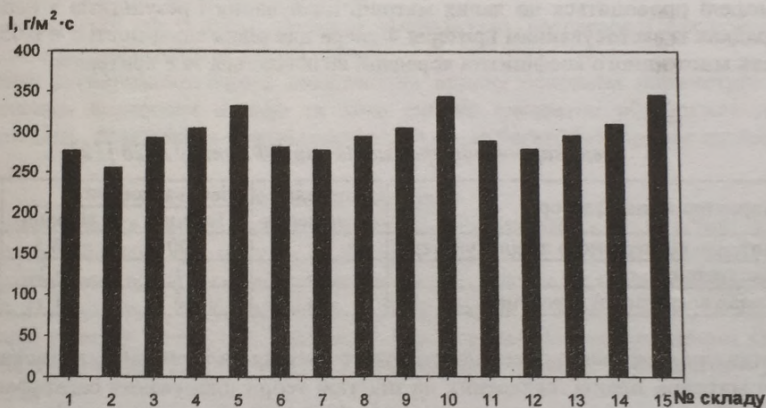


Рисунок 3 – Залежність інтенсивності гасіння I від номера № вогнегасного складу

У роботі експериментальні дослідження виконували згідно планів матриць дробових факторних експериментів (ДФЕ) [12]. ДФЕ проводили згідно плану №28 [12], при цьому основними параметрами гасіння вогнегасним порошком прийнято: G (фактор X_1), t (фактор X_2) та C (фактор X_3). Інші фактори незмінні. Рівні варіювання факторів для ДФЕ типу №28 [12] наведено у табл. 4.

Переважає більшість математичних описів процесів у технічних системах має вигляд ступеневих функцій. Не виняток і пожежна безпека, де встановлюють зв'язки між параметрами оптимізації (геометричними та фізичними параметрами, складовими різних процесів тощо) та характеристиками процесів гасіння у вигляді цих же функцій. Тому вважаємо, що

для процесу гасіння магнію та його сплавів розробленим вогнегасним складом нелінійні за факторами математичні моделі 2-го порядку будуть адекватно описувати зв'язок між технологічними параметрами процесу гасіння та параметрами оптимізації, зокрема, інтенсивністю подавання вогнегасної речовини. Після стандартного логарифмічного перетворення ступеневі функції отримують рівняння регресії, для якої допустимо використовувати матриці планування експериментів:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2, \quad (1)$$

де Y – вибіркова оцінка функції, що вивчається; b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – вибіркові коефіцієнти регресії (оцінки для генеральних значень коефіцієнтів регресії $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}$); X_i, X_j – незалежні змінні; k – загальне число незалежних змінних.

Вибіркові коефіцієнти регресії цієї моделі визначаються з використанням матриці планування і результатів експериментів; матриця нормальних рівнянь плану повинна бути не виродженою, тобто необхідно, щоби існувала обернена матриця $(X^*X)^{-1}$.

Загальне число коефіцієнтів регресії для моделі 2-го порядку виражається як

$$N_k = \frac{(k+1)(k+2)}{2}. \quad (2)$$

При побудові математичних моделей кількість повторних дослідів вибираємо $r = 2$ для доброї їх відтворюваності. Також на вибір кількості дослідів має вплив працемісткість проведення експериментів, наявність необхідних матеріалів і оброблення результатів.

Результати експериментів опрацьовували згідно відомої методики, яка містить статистичний аналіз досліджень [9, 10]. Перевірка гіпотези про адекватність отриманої математичної моделі проводиться по даних матриці планування і результатів з неповторними по умовах рядках із застосуванням критерія Фішера для рівня значимості $\alpha = 0,05$. Гіпотеза про значимість множинного коефіцієнта кореляції визначається за F критерієм.

Таблиця 4

Рівні варіювання факторів для ДФЕ типу №28 [12]

№ з/п	Характеристика фактора	Кодоване позначення	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
			Верхній	Нижній	
1	Витрата вогнегасного порошку G , гр	X_1	200	148,5	51,5
2	Час гасіння t , с	X_2	31	26,2	4,8
3	Склад вогнегасної речовини C	X_3	15	1	14

Вплив параметрів процесу порошкового гасіння на інтенсивність гасіння досліджували згідно матриць планів, складених на підставі теорії планування багатфакторних експериментів. Дана теорія дозволяє описати фізичний процес відповідною статистично-математичною залежністю, а при застосуванні статистичних процедур оброблення даних – відповідним регресійним рівнянням.

Оброблення результатів експериментальних досліджень проводили згідно викладеній у загальнопринятій методиці [10]. Математичні залежності у кодovаних змінних для визначення інтенсивності подачі вогнегасного порошку після перевірки однорідності дисперсій, відтворюваності у дослідях за критерієм Кохрена, значущості коефіцієнтів регресій за допомогою критерію Стюдента та адекватності математичних моделей при застосуванні критерію Фішера мають вигляд:

$$I = 2,471 + 1,7224 \cdot X_1^2 + 1,7326 \cdot X_2^2 + 1,9724 \cdot X_3^2 + 0,2357 \cdot X_1 + 0,2430 \cdot X_2 - 0,4833 \cdot X_3 + 0,2535 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,0133 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,0125 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3)$$

У натуральних змінних математичні залежності для відображення змін інтенсивності гасіння вогнегасним порошком від параметрів процесу гасіння мають вигляд:

$$\begin{aligned} \lg I = & 2,471 + 1,7224 \cdot (15,50 \lg G - 34,67)^2 + 1,7326 \cdot (48,78 \lg t - 71,73)^2 + 1,9724 \cdot \\ & (1,70 \lg C - 1,00)^2 + 0,2357 \cdot (15,50 \lg G - 34,67) + 0,2430 \cdot (48,78 \lg t - 71,73) - 0,4833 \cdot \\ & (1,70 \lg C - 1,00) + 0,2535 \cdot (15,50 \lg G - 34,67) \cdot (48,78 \lg t - 71,73) + 0,0133 \cdot \\ & (15,50 \lg G - 34,67) \cdot (1,70 \lg C - 1,00) + 0,0125 \cdot (48,78 \lg t - 71,73) \cdot (1,70 \lg C - 1,00) \\ & I = 10^{\lg I}. \end{aligned} \quad (4)$$

Результати експериментального дослідження впливу основних параметрів процесу гасіння вогнегасним порошком магнію та його сплавів адекватно відображає дослідно-емпірична залежність, виведена на основі теорії планування багатофакторного експерименту. Її використання дозволяє не тільки здійснити аналіз вагомості впливів та взаємовпливів параметрів процесу на ті чи інші його показники, а і дає змогу поширити дані експериментального дослідження на інші матеріали та процеси гасіння, які належать до класу Д1.

Висновки. Проведені лабораторні дослідження вогнегасних сумішей, які складаються з хлориду натрію, меленого шлаку і аеросилу та визначено параметри гасіння. Встановлено оптимальне співвідношення складників вогнегасного порошку, які забезпечують оптимальну величину інтенсивності подавання. Оптимальним є склад вогнегасного порошку у такому складі: хлорид натрію – 73,5 %, мелений шлак – 25 % та аеросил – 1,5 %.

Покращено властивості вогнегасного порошку додаванням меленого шлаку та аеросилу, які надають вогнегасному порошку термостійкості, ізолювальної і антизлежувальної здатності, текучості та вогнегасної ефективності.

Також планується проведення натурних випробувань вогнегасної ефективності порошку з оптимальним його складом в подальшому.

Результати експериментального дослідження впливу основних параметрів процесу гасіння вогнегасним порошком магнію та його сплавів адекватно відображає дослідно-емпірична залежність, виведена на основі теорії планування багатофакторного експерименту.

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. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах; кн. 1 / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др. – М., Химия, 1990. – 496 с.
3. Глосарій термінів з хімії / Й. Опейда, О. Швайка, Ін-т фізико-органічної хімії та вуглекімії 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. Дослідження хімічних речовин, як складників вогнегасних порошків для гасіння легких металів / В. В. Ковалишин, В. М. Марич, Я. Б. Кирилів та ін. // Пожежна безпека : зб. наук. пр. – Л. : ЛДУБЖД, 2016. – № 29. – С. 46-56.
6. Дослідження хімічних речовин, як складників вогнегасних порошків для гасіння магнію та його сплавів / В. М. Марич, В. В. Ковалишин, Я. Б. Кирилів та ін. // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. – С. 59-61.
7. Налімов В. В. Теорія експеримента / В. В. Налімов. – М.: Наука, 1971. – 207 с.
8. Налімов В. В. Логические основания планирования эксперимента / В. В. Налімов, Т. И. Голикова. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 72 с.

9. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

10. Душинский В. В. Оптимизация технологических процессов в машиностроении / В. В. Душинский, Е. С. Пуховский, С. Г. Радченко. – К.: Техніка, 1977. – 176 с.

11. Теребнев В. В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений / В. В. Теребнев. – М.: Пожжника, 2004 г. – 256 с.

12. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (справочное издание). Бродский Р. З., Бродский Л. И., Голикова Т. И. и др. – М.: Metallurgiya, 1982. – 752 с.

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. *Pozharovzrivoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: Spravochnik* [Fire and highly explosive substances and materials and their means of extinguishing: Directory] (1990). A. N. Baratov, A. Ya. Korol'chenko, G. N. Kravchuk & al., Khimiya, Moscow, USSR.

3. *Glosarij terminiv z himii'* [Glossary of Chemistry]. J. Opejda, O. Shvajka (2008). In-t fizyko-organichno' himii' ta vuglehimii' im. L. M. Lytvynenka NAN Ukraïny, Donec'kij natsional'nyj universytet, Donec'k, Veber, Ukraine.

4. <http://autocarta.ru/other/gorenie-i-tushenie-metallov-i-gibridov-metallov.html>.

5. Kovalyshyn, V. V., Marych, V. M. et al. (2016). Research of the chemicals usable in fire extinguishing powder for light metal fires extinguish. *Pozhezhna bezpeka : zb. nauk. pr. (Fire safety : sci. res. j.)*, 29, 46-56, Ukraine.

6. Investigation of chemicals as constituents of fire extinguishing powders for quenching magnesium and its alloys / V. M. Marych, V. V. Kovalyshyn, Ya. B. Kyrlyiv et al. // Theory and practice of extinguishing fires and liquidation of emergencies: Proceedings of the VIII International scientific and practical conference. – Cherkasy: ChIPB im. Heroiv Chornobylia NUTsZ Ukrainy, 2017. – S. 59-61.

7. Nalimov, V. V. (2011), *Teoriya eksperimenta* [Theory of experiment], Nauka, Moscow, USSR.

8. Nalimov, V. V. & Golikova, T. I. (1971), *Logicheskiye osnovaniya planirovaniya eksperimenta* [Logical bases for experiment planning], Izdatelstvo MGU, Moscow, USSR.

9. Tikhomirov V. B. (1974), *Planirovaniye i analiz eksperimenta* [Planning and analysis of the experiment], Legkaya industriya, Moscow, USSR.

10. Dushinskiy, V. V., Pukhovskiy, E. S. & Radchenko, S. G. (1977), *Optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov v mashinostroyenii* [Optimization of technological processes in mechanical engineering], Tekhnika, Kyiv, USSR.

11. Terebnev V. V. (2004), *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara. Takticheskiye vozmozhnosti pozharnykh podrazdeleniy* [Directory of the head of extinguishing the fire. Tactical capabilities of fire departments], Pozhkniga, Moscow, Russia.

12. *Tablitsy planov eksperimenta dlya faktornykh i polinomialnykh modeley (spravochnoye izdaniye)* [Tables of experiment plans for factorial and polynomial models (reference edition)] (1982). Brodskiy R. Z., Brodskiy L. I., Golikova T. I. et al., Metallurgiya, Moscow, USSR.

