

УДК 614.841.12:539.377

УКПП

№ держреєстрації № 0122U200807

Інв. №

Державна служба України з надзвичайних ситуацій  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
(ЛДУБЖД)

79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35;  
тел. (032) 233-24-79; 233-14-97; факс 233-00-88;  
email: ldubgd.edu.ua



## ЗВІТ

### ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

“ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГАСІННЯ КОМБІНОВАНИХ ПОЖЕЖ ЗА  
НАЯВНОСТІ ЛЕГКИХ МЕТАЛІВ ТА ФОСФОРНИХ СПОЛУК”  
(остаточний)

Керівник НДР

професор кафедри ЦЗ та КМЕП

доктор технічних наук, професор

 Василь КОВАЛИШИН

2023


Рукопис закінчено 15.03.2023р.

Результати роботи розглянуто Вченою радою Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, протокол від 24 березня 2023 р. № 7.

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР


професор кафедри цивільного захисту та комп'ютерного моделювання екогеофізичних процесів,  
 доктор технічних наук, професор

  
 15.03.2023р.

Василь КОВАЛИШИН  
 (розділи 1-4, висновки)

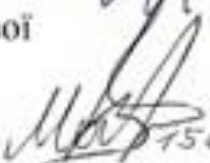
Відповідальні виконавці:

Доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики,  
 кандидат технічних наук, доцент

  
 15.03.2023р.

Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ  
 (вступ, розділи 2, 3  
 висновки)


Старший викладач кафедри промислової безпеки та охорони праці,  
 кандидат технічних наук

  
 15.03.2023р.

Володимир МАРИЧ  
 (вступ, розділи 3, 4,  
 висновки)

Виконавці:


Викладач кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки,  
 кандидат технічних наук

  
 15.03.2023р.

Володимир  
 КОВАЛИШИН  
 (вступ, розділи 1, 2,  
 висновки)


Завідувач науково-дослідної екологічної безпеки

лабораторії

  
 15.03.2023р.

Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ  
 (розділи 1, 2, 3)

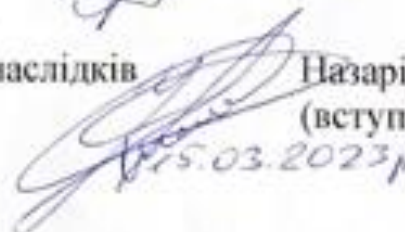
Науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки,  
 кандидат технічних наук

  
 15.03.2023р.

Павло ПАСТУХОВ  
 (розділи 1, 3)

Ад'юнкт кафедри ліквідації надзвичайних ситуацій

наслідків

  
 15.03.2023р.

Назарій ВЕЛИКИЙ  
 (вступ, розділи 1, 3)

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 4 розділів, 107 с., 15 табл., 45 рис., 105 літературних джерел.

ГАСІННЯ ЛЕГКИХ МЕТАЛІВ ЧИ СПОЛУК ФОСФОРУ, НАСАДКА-ЗАСПОКОЮВАЧ, ПОЖЕЖІ ЛЕГКИХ МЕТАЛІВ, РЕЦЕПТУРА, ТЕХНОЛОГІЯ ГАСІННЯ.

**Метою роботи є** наукове обґрунтування технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору. Вдосконалення рецептур вогнегасних порошків та засобів їх подавання для гасіння пожеж класу А, В та легких металів та сполук фосфору.

**Об'єкт досліджень:** Процес горіння та гасіння пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору.

**Предмет досліджень** – вогнегасні речовини та засоби подавання для гасіння пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору.

**Методи досліджень.** В роботі використано комплексний метод досліджень, який включає в себе: аналіз та застосування статистичних методів обробки даних, перевірку достовірності отриманих результатів математичним моделюванням та полігонними випробуваннями.

### **В роботі висвітлено основні результати:**

- вдосконалення рецептури вогнегасних порошків при гасінні легких металів чи сполук фосфору та розроблена рецептура;
- вдосконалення конструкції насадки-заспокоювача в спосіб, що дає змогу збільшити кількість потрапляння порошку та піноутворювача на об'єкт гасіння шляхом моделювання процесів за допомогою програмного продукту COSMOSFloWorks;
- проекти технічних умов на вогнегасні порошки для гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору;
- рекомендації із гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору.

## Передмова

Наукова робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі – підвищення ефективності гасіння пожеж класу D (магнію, алюмінію та їх сплавів), а також пожеж класу А, В шляхом вдосконалення рецептури вогнегасного порошку спеціального призначення та використанням методу комбінованого гасіння пожежі класу D, А, В вогнегасним порошком та піною підвищеної стійкості, та гасіння фосфору та його сполук, розробленню рекомендацій з гасіння цих речовин. Проведені полігонні випробування з гасіння пожеж класу А, В, D за розробленою технологією гасіння та «Рекомендаціями із гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору, для подальшого їх впровадження і використання у пожежно-рятувальних підрозділах та навчальних закладах системи ДСНС.

## ЗМІСТ

<b>СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....</b>	<b>8</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>9</b>
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ ЗА НАЯВНОСТІ ЛЕГКИХ МЕТАЛІВ ЧИ СПОЛУК ФОСФОРУ .....</b>	<b>11</b>
1.1. Особливості гасіння пожеж за наявності магнію та його сплавів .....	11
1.2. Аналіз пожеж магнію та його сплавів чи сполук фосфору	15
1.3. Характеристика запалювальної зброї на основі сплавів магнію .....	22
1.4. Характеристика фосфорних боєприпасів.....	24
1.5. Галузь застосування магнію.....	27
1.6. Фізико-хімічні властивості магнію та фосфору.....	30
1.6.1. Фізико-хімічні властивості магнію.....	30
1.6.2. Фізико-хімічні властивості фосфору.....	33
1.7. Основні напрямки захисту від пожеж і вибухів при роботі з магнієвими сплавами.....	35
1.8. Мета і задачі досліджень.....	38
<b>РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ЛЕГКИХ МЕТАЛІВ ЧИ ФОСФОРНИХ СПОЛУК .....</b>	<b>39</b>
2.1. Оптимізація рецептур вогнегасних порошків спеціального призначення комбінованої дії .....	39
2.2. Гасіння пожежі легких металів та їх сплавів в лабораторних умовах .....	43
2.3. Методи математичного планування експериментів та їх вибір .....	46
2.3.1. Планування та опрацювання результатів факторного експерименту.....	49

2.3.2. Дослідно-емпіричні залежності для визначення інтенсивності пожежогасіння класів D, A, B.....	51
2.4. Полігонні випробування КМ-3 при гасінні пожеж класу B, D.....	54
2.5. Лабораторні дослідження ефективності гасіння горіння металів.....	58
2.6. Характеристика вогнегасного порошку спеціального призначення КМ-3.....	63
2.7. Висновки за розділом.....	66
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ПОРОШКОВО-ПІННОГО ГАСІННЯ .....</b>	<b>68</b>
3.1. Моделювання насадки-заспокоювача для подавання порошку .....	68
3.2. Експериментальна перевірка адекватності змодельованих процесів в насадках-заспокоювачах .....	78
3.3. Пересувна установка для гасіння (модельних) вогнищ легких металів чи сполук фосфору .....	81
3.4. Висновки за розділом.....	83
<b>РОЗДІЛ 4. ПОЛІГОННІ ВИПРОБУВАННЯ .....</b>	<b>85</b>
4.1. Гасіння комбінованої пожежі D, B, A порошком КМ-3 та компресійною піною .....	85
4.1.1 Вибір піноутворювачів для гасіння комбінованих пожеж .....	85
4.1.2. Отримання компресійної піни з використанням ВП-12 і заспокоювача .....	86
4.2. Гасіння комбінованої пожежі класу D, B, A порошком КМ-3.....	87
4.2.1. Гасіння комбінованої пожежі D, B, A порошком КМ-3 та компресійною піною .....	89
4.3. Рекомендації з гасіння пожеж легких металів та фосфорних сполук та їх структура .....	92

4.4. Висновки за розділом.....	95
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>96</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>98</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>108</b>
<b>ДОДАТОК А. Заявка на НДР. Технічне завдання.     Календарний план. Калькуляція вартості.....</b>	<b>109</b>
<b>ДОДАТОК Б. Технічні умови вогнегасного порошку     спеціального призначення «КМ-3».....</b>	<b>125</b>
<b>ДОДАТОК В. Протоколи випробувань .....</b>	<b>136</b>
<b>ДОДАТОК Д. Акти впровадження.....</b>	<b>160</b>
<b>ДОДАТОК Ж. Лист про надання рекомендацій з гасіння     легких металів чи фосфорних сполук для ознайомлення     та використання у практичній діяльності головним     управлінням ДСНС України з надзвичайних ситуацій в     м. Києві .....</b>	<b>165</b>
<b>ДОДАТОК З. Рекомендації з гасіння легких металів     чи фосфорних сполук.....</b>	<b>167</b>

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ЛДУБЖД – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності;

НДР – науково-дослідна робота;

ДКР – дослідно-конструктора робота;

ДСТУ – державний стандарт України

ОРС ЦЗ – оперативно-рятувальна служба цивільного захисту;

КП – компресійна піна;

ПТЗП – переносний технічний засіб пожежогасіння;

ПУ – піноутворювач;

ЛЗР – легкозаймиста речовина;

ГР – горюча речовина;

УППГ – установка порошково-пінного гасіння;

ВПСП – вогнегасний порошок спеціального призначення;

ДФЕ – дробовий факторний експеримент;

ВП – вогнегасник порошковий;

ВВП – вогнегасник водопінний;

ПМП – повітряно-механічна піна;

ГПС – генератор піни середньої кратності;

СВП – ствол водопінний;



## ВСТУП

Процес гасіння пожеж класу Д (за наявності сполук легких металів) та пожеж класу А, В є актуальним як в воєнний час, так і в мирний. Магній, алюміній та їх сплави використовують у військовій галузі при виготовленні запалювальних гранат. Їх застосування зросло за останні роки на стадіонах, для світлошумових ефектів, на Сході нашої держави, де їх використовують для підпалу складів з боєприпасами, гасіння таких у пожеж ускладнюється через те, що магній розбризкується на великі площі або по всьому приміщенні тим самим, збільшуючи площу горіння, швидко займаються дерев'яні ящики з боєприпасами і ускладнюється процес гасіння. Дуже часто під час війни ворог використовує фосфорні запалювальні боєприпаси. Тому виникає необхідність у застосуванні ефективних методів та способів гасіння такого класу пожеж. Збитки від таких пожеж сягають млрд гривень [1]. Пожеж одного класу D, як правило, не буває. Можуть виникати спочатку пожежі класу D а потім А, В або навпаки: пожежі ЛЗР чи твердих горючих матеріалів, а потім пожежі легких металів, які потребують комбінованих способів гасіння, при цьому треба враховувати високу температуру горіння магнію, підсилення горіння при гасінні водою,  $\text{CO}_2$ , азотом. При подаванні вогнегасної речовини під високим тиском магній та його сплави розбризкуються та збільшують площу горіння [2]. В Україні не виготовляються порошки для гасіння пожеж класу D та А, В.

Отже, необхідно вдосконалити технологію гасіння комбінованих пожеж, зважаючи на особливості горіння магнію, алюмінію та їх сплавів чи фосфору.

**Метою роботи** є наукове обґрунтування технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору та розроблення рекомендацій з гасіння цих сполук.

**Об'єкт досліджень.** Процес горіння та гасіння пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору.

**Предмет досліджень** – вогнегасні речовини та засоби подачі при гасінні пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору.

**Методи досліджень.** В роботі використано комплексний метод досліджень, який включає в себе: аналіз та застосування статистичних методів обробки даних, перевірку

достовірності отриманих результатів математичним моделюванням та полігонними випробуваннями. Також, проводилось комп'ютерне моделювання для дослідження насадок-заспокоювачів здійснюється із використанням програмного продукту COSMOSFloWorks.

**Завдання дослідження.** Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати такі завдання досліджень:

- провести статичний аналіз пожеж в Україні та світі за 2011-2021 роки;
- проаналізувати відомі методи гасіння пожеж за наявності легких металів;
- проаналізувати українські та зарубіжні вогнегасні речовини, призначені для гасіння легких металів та сполук фосфору;
- вдосконалити рецептуру вогнегасних порошків на гасіння пожеж класу А, В та легких металів і сполук фосфору;
- вдосконалити конструкцію заспокоювача для подавання вогнегасних порошків та піни при гасіння пожеж класу А, В та легких металів і сполук фосфору;
- розробити рекомендації з гасіння легких металів чи фосфорних сполук.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СТАНУ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ ЗА НАЯВНОСТІ ЛЕГКИХ МЕТАЛІВ ЧИ СПОЛУК ФОСФОРУ

#### 1.1. Особливості гасіння пожеж за наявності магнію та його сплавів

Для гасіння легких металів потрібно застосовувати відповідні вогнегасні речовини та засоби їх подачі. При гасінні легких металів необхідно подавати порошок при мінімальній швидкості руху його частинок на горючу поверхню так, щоб він покривав поверхню і не роздмухував вогонь. Багато науковців досліджували вогнегасні речовини для гасіння пожеж класу D. Результати досліджень з гасіння вогнегасними порошками спеціального призначення відображені у [3-10]. В усіх випадках дослідники дійшли до висновку, що до складу спеціальних порошоків має входити NaCl, KCl. Наповнювачами виступають мелений пісок, шлак, зола, сполуки мелаїну, графіт, каолінова глина.

В роботі [11] пропонується гасити магній аргоном. Це себе виправдовує тільки в закритих об'ємах. Гасіння аргоном та аерозолями є об'ємним способом гасіння, що погано працює при поверхневому гасінні [12]. Горіння сповільнюється, але не зупиняється повністю.

В [13, 14] використані насадки у вигляді сопла або прямої насадки, що не дозволяє додатково знизити швидкість руху порошку. Запропоновані вогнегасні речовини у практиці гасіння легких металів показали себе малоефективними, оскільки виникає ще проблема подавання вогнегасної речовини в певному напрямку.

Там, де використовувались насадки у вигляді сопла при гасінні методом ізоляції, не вдається накрити поверхню, а ще й розпорошується стружка, роздмухується вогонь. Тому потрібно порошок плавно посипати на поверхню горіння під тиском не більше 0,01 МПа. У відомій методиці [15, 16] подача порошку здійснюється за допомогою Г-подібної насадки, відбивання порошку відбувається від дна напівциліндра. У заспокоювачі використовується одна параболічна поверхня, яка дає змогу знизити швидкість руху частинок порошку та

забезпечує розсіювання його по поверхні. У варіанті [17] присутній боковий трубопровід, на якому порошок частково осідає.

Канадські пожежники [18] використовують прямі насадки, які всередині мають подрібнювач струменя. Порошок виходить через багато сопел, збільшується опір чим понижуються швидкість руху порошку на виході. Кількість порошку, яка потрапляє в зону горіння, становить 65–67 %, але цього недостатньо.

В роботі [15] використовують і описують відбивачі односторонні та еліптичні, які дають процент потрапляння порошку на поверхню до 60 % (рис. 1.1).

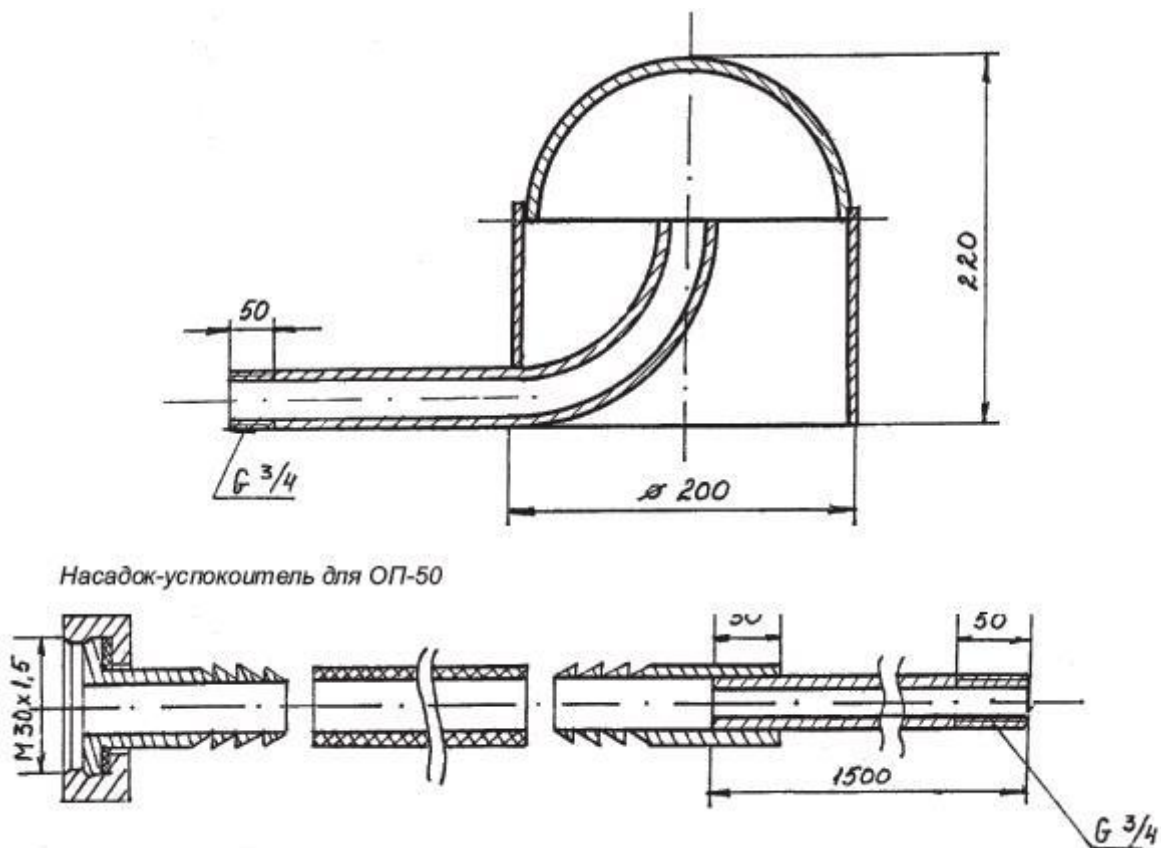


Рисунок 1.1 – Схема ствола і насадки-заспокоювача

В Німеччині використовують односторонні [19, 20] насадки з шлангами великих діаметрів від вогнегасника до насадки (рис. 1.2), які забезпечують інтенсивність гасіння при меншому тиску в корпусі вогнегасного пристрою завдяки збільшенню діаметра шланга та корпусу вогнегасника, тим самим зменшують тиск на виході порошку до 0,01–0,015 МПа. Як недолік, слід зазначити погану маневреність дій оператора, пов'язану саме з діаметром шлангів та малою їх довжиною, а також великий залишок порошку в шлангах.



Рисунок 1.2 – Вогнегасник з односторонньою насадкою

Гасіння магнію [21] вогнегасним порошком на основі графіту та з використанням насадки-заспокоювача з одностороннім відбивачем та подовженим корпусом забезпечує потрапляння 50–70 % порошку на поверхню, що не задовольняє вимоги сучасного пожежогасіння – втрати вогнегасного порошку повинні бути не більше 15 % (10 % – допустимий залишок в корпусі [ДСТУ3675-98], до 5 % – залишок в трубопроводах, похибки в вимірюваннях, досвід оператора гасіння).

В роботі [18] збільшили довжину корпусу відбивача і при цьому ж тиску досягнули результату 65–70 % потрапляння порошку на об'єкт гасіння (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Вогнегасник для гасіння магнію канадського виробництва

Дослідженню процесів припинення горіння пожеж класу D та розробці відповідних вогнегасних речовин присвячені роботи Баратова А. М., Вайсмана М. Н., Габрієляна С. Г., Антонова А. В., Тропінова О. Г., Апановича В. М., Ковалишина В. В., Демиденка О. Г., Білошицького М. В., Мошковського М. С., Копильного М. І., Nelson, R., Kang et al H., Schmalfuß H., Schlüsslmayr Ch., Wilson C., Tapscott R., Zallen D., Plugge M., James E. в галузі гасіння пожеж класу D магнію та його сплавів виконані в Західній Європі, США, Канаді. Дослідження з гасіння пожеж класу D магнію та його сплавів в Україні проводились недостатньо, в даний час порошки спеціального призначення не випускаються. В літературі також відсутні наукові публікації щодо рецептур вогнегасного порошку та виготовлення насадки-заспокоювача для його подачі під час гасіння пожеж класу D магнію та його сплавів.

Пожежі та вибухи, які виникли з причин загоряння магнію та його сплавів, є актуальною проблемою, яку потрібно вирішувати, розробляти ефективні способи та засоби гасіння пожеж таких класів з врахуванням їх особливостей. Аналіз наявних на сьогодні літературних даних показує, що не існує ефективних способів та устаткування, які б дозволили гасити пожежі класу D швидко, з малими втратами.

Основний недолік наявного устаткування – мала кількість потрапляння порошку на поверхню горючого металу, без роздмухування вогню та металевої

стружки. Причиною цього є висока швидкість руху порошку. Тиск в корпусі вогнегасного пристрою повинен бути високий для аерації порошку та транспортування його на далекі відстані, а на виході порошок повинен рухатись спрямовано, інтенсивно покриваючи поверхню.

У попередніх дослідженнях для зниження швидкості руху вогнегасного порошку не розглядалися двосторонні заспокоювачі та рух складових двофазового середовища: газ-порошок. Не використовувався програмний продукт, який призначений для розв'язування прикладних задач в області аерогідродинаміки шляхом моделювання відповідних процесів – тертя частинки з твердою поверхнею; неідеальне відбивання частинок від твердої поверхні; зіткнення частинок між собою та тертя з турбулентними потоками газу.

## **1.2. Аналіз пожеж магнію та його сплавів чи сполук фосфору**

Проаналізуємо найбільш резонансні пожежі в Україні та світі, що спричинені наявністю сплавів магнію.

2 жовтня 2015 року понад 20 пожежників гасили 47 тонн палаючого магнію на заводі PolMag в Республіці Польща (рис. 1.4). На першому етапі розплавлений магнієвий сплав намагалися загасити, але безуспішно. Використовували вогнегасний порошок, але вогонь настільки інтенсивний, що його неможливо було погасити. Не вистачало необхідних засобів подачі вогнегасних речовин [22].



Рисунок 1.4 – Приклад пожежі на заводі PolMag в Республіці Польща

Пожежа магнію завдала збитків на мільйони євро у місті Зоненберг (Німеччина) у 2010 році [23]. Горіло 30 тонн магнію. До локалізації і ліквідації пожежі приступили не вчасно, не було ефективних засобів первинного пожежогасіння.

В жовтні 2006 року виникла пожежа магнієвої стружки в контейнері для збору металевих відходів на колишній території Львівського автобусного заводу. Причина пожежі — займання контейнера з магнієвою стружкою. Під час пожежі ніхто не постраждав, але небезпека для здоров'я львів'ян таки була, оскільки контейнер розташований неподалік від тролейбусної зупинки. Гасіння пожежі тривало кілька годин, оскільки магній не можна гасити водою, а ті засоби, що були, не дали змоги зробити це швидко. Працівники ДСНС змушені були гасити магнієву стружку повітряно-механічною піною та іншими, на їх погляд, безпечними засобами [24].

В Криму 17 жовтня 2009 року сталася пожежа на станції зі зберігання отрутохімікатів «Отрадное», Джанкойського р-ну. В результаті пожежі згоріло близько 160 тонн отрутохімікатів. Площа пожежі становила близько 600 квадратних метрів. З 60-70 років минулого століття на цій станції зберігалися пестициди, у складі яких був магній. За однією з версій, саме він став причиною самозагорання отрутохімікатів [25].

В квітні 2010 року на заводі «Київприлад», що на вулиці Гарматній 2, в Солом'янському районі столиці, стався потужний вибух магнію. Причина вибуху – іскра від газозварювального апарата, яка потрапила в ємність з магнієм і спричинила вибух, унаслідок якого двоє чоловіків загинули на місці. Від високої температури поплавилися металеві конструкції підіймача, а від ударної хвилі повилітали шибки в цеху з першого по четвертий поверх [26, 27].

2 квітня 2009 року, близько 17 години на ВАТ «Магнітогорський металургійний комбінат» за добу сталося дві пожежі. Після прибуття першого підрозділу виявлено, що відбувається горіння гранульованого магнію на відкритому майданчику, площа горіння – 20 м<sup>2</sup>. Близько 17:44 пожежники локалізували загорання, а о 18:05 ліквідували відкрите горіння. Всього для гасіння пожежі



залучалося 60 чоловік, 18 одиниць техніки, від ДСНС – 47 чоловік, 11 одиниць техніки. Через кілька годин, 3 квітня близько 2:58 на «ММК» знову сталася пожежа. Горіння відбувалося на відкритому майданчику для зберігання гранульованого магнію киснево-конверторного цеху. В результаті пожежі знищено шість тонн гранульованого магнію. Від ДСНС задіяні 11 одиниць техніки і 47 чоловік [28].

30 березня 1988 року в Чикаго вибухнув причіп, який змусив 200 людей евакуювати з двох різних заводів. Причіп був на 91% наповнений чистим магнієм. Температура горіння сягала 2030 °С, алюмінієво-сталевий причіп повністю розплавився. Пожежники на місці події не могли погасити вогонь адже не мали спеціальних вогнегасних порошків, тому чекали коли вигорить весь магній. Але для того, щоб пожежа не розповсюджувалася на будівлі та споруди поблизу горіння пожежники охолоджували їх [29].

У 2011 році до пожежного відділення на узбережжі Північної Кароліни надійшло повідомлення, що горить автомобіль (рис. 1.5). Після прибуття пожежників на місце пожежі було встановлено, що горить двигун автомобіля. Коли пожежники подали воду, то автомобіль вибухнув. Причиною вибуху стало те, що деякі деталі двигуна та кузова передньої частини автомобіля виготовлені з сплаву магнію, тому після реакції палаючого магнію з водою відбувся вибух. Один пожежник був доправлений до лікарні з опіками від горіння магнію.



Рисунок 1.5 – Вибух під час горіння автомобіля на узбережжі Північної Кароліни

Подібні інциденти, пов'язані з горінням магнію траплялися по всій країні. Департаменти повинні були змінити тактику роботи з подібними випадками, щоб зберегти своїх пожежників. Магній, як правило, використовується лише в старих двигунах Volkswagen і Ford F150. Протягом наступних 10 років компанії з виробництва автомобілів таких марок, як BMW, Ford, Mercedes, GMC, Ауді, Ягуар та інші будуть додавати магній до інших деталей автомобіля. В сучасному суспільстві магній можна знайти у всіх транспортних засобах, побутовій та сільськогосподарській техніці [29].

10 червня 2018 року в німецькому місті Ландсхут в Баварії горів завод автоконцерну BMW. Згідно з повідомленням, горіли продукти з вмістом магнію. За версією поліції, через високий тиск перегрілася ливарна машина. Двоє працівників та один пожежник були госпіталізовані. Густі хмари диму можна було побачити здалеку над заводом BMW опівдні. Через сильний дим населенню рекомендували закрити вікна та двері. Пожежа також вплинула на залізничний рух. Ділянка між Вьор-ан-дер-Ізаром і Ландсхутом була закрита близько години. За оцінками експертів BMW, збиток оцінюється приблизно в два мільйони євро [30, 31].

2 вересня 2017 року в Іспанії десятки тисяч жителів автономного співтовариства Мадрид отримали попередження не залишати свої будинки через поширення хмари токсичного диму. Причиною цього стало загоряння на виробничому складі, де горіло 40 тонн магнію і алюмінію (рис. 1.6), в муніципалітеті Фуенлабрада. В результаті цієї пожежі постраждала одна людина [32].



Рис. 1.6. Горіння магнію і алюмінію на виробничому складі в Іспанії

Небезпечними є також пожежі та вибухи на футбольних стадіонах. Один із випадків стався 2016 році під час у гри збірних Італії та Хорватії (рис. 1.7). У ході гри між уболівальниками розпочалися сутички, з використанням запальних пристроїв з вмістом стружки магнію. В наслідок цього сталася пожежа з великою кількістю потерпілих. Гра була зупинена.



Рис. 1.7. Запалювальні пристрої на футбольному стадіоні [33]

Подібні пожежі, спричинені горінням та вибухом магнію і його сплавів частіше трапляються у процесі їх обробки та утилізації відходів [34-38].

16 липня 2007 року близько 17 години селі Ожидів, Бузького району Львівської області на залізничному перегоні Красне-Ожидів зійшов з рейок та перекинувся потяг з 15 цистернами (рис. 1.8), що перевозив жовтий фосфор, який прямував із Казахстану до Польщі. Через виток фосфору з однієї цистерни сталося самозаймання 6 цистерн. До ліквідації наслідків надзвичайної ситуації було залучено 450 осіб особового складу та 80 одиниць техніки, у тому числі: від ДСНС 125 осіб і 30 одиниць техніки, від Мінтрансу 30 осіб і 7 одиниць техніки (6 пожежних потягів), від МВС 220 осіб і 30 одиниць техніки, від МОЗ 25 осіб і 9 одиниць техніки. Для гасіння використовували піноутворювач, якого не було в достатній кількості. Під час гасіння пожежі утворилася хмара з продуктів горіння (зона ураження близько 90 км<sup>2</sup>). До зони враження потрапило 14 населених пунктів Бузького району та окремі території Радехівського та Бродівського районів області. Внаслідок пожежі продуктами горіння отруїлося 16 осіб, з яких 13 у стані важкого та середнього ступеня важкості госпіталізували до військового медичного клінічного центру Західного оперативного командування у Львові. Семеро госпіталізованих – працівники ДСНС, двоє – працівники Державтоінспекції, четверо – місцеві жителі. Загиблих не було, однак зранку наступного дня мешканці Бузького району почали звертатися у лікарні та медпункти зі скаргами на нудоту і головний біль. Жителів найближчих сіл було тимчасово відселено. Евакуйовано жителів найближчого до місця аварії с. Ожидів, але люди неохоче залишають домівки, оскільки на їхніх подвір'ях залишається худоба та свійські тварини й птахи.

Це була наймасштабніша аварія, одна з найбільших фосфорних екологічних катастроф у світі.



Рис. 1.8. Горіння фосфору на залізничному перегоні Красне-Ожидів

З початку повномасштабної війни в Україні, росія активно використовує проти українців увесь свій вбивчий арсенал, включно з фосфорними бомбами.

За час бойових дій, росія неодноразово порушувала правила війни та користувалася забороненими боєприпасами Женевською конвенцією. Зокрема, застосування фосфорних бомб протягом 2022 року зафіксовано в Рубіжному (Луганської області), Маріуполі, Мар'їнці, Авдіївці Сіверодонецьку, Краматорську і Попасній (Донецької області).

Магній та його сплави останнім часом часто використовують у військовій галузі при виготовленні запалювальних гранат. Їх застосування зросло за останні роки на сході нашої держави, де їх використовують для підпалу складів з боєприпасами, що ускладнює гасіння пожежі через те, що магній розбризкується на великі площі або по всьому приміщенні і, тим самим, збільшується площа загоряння, швидко займаються дерев'яні ящики з боєприпасами і ускладнюється процес гасіння.

### 1.3. Характеристика запалювальної зброї на основі сплавів магнію

Найбільш поширеними запалювальними речовинами на основі нафтопродуктів є напалми. Їх одержують шляхом добавки до рідкого пального, частіше всього бензину, спеціальних загусників. Напалми мають здатність легко займатись і розвивати температуру до 1200°C. Вони прилипають до поверхонь різних об'єктів, горять при доступі кисню і важко піддаються гасінню. Час горіння окремих згустків досягає 5 хв. У разі змішування напалму з лужними та лужно-земельними металами (наприклад; натрієм, магнієм) або фосфором утворюється «супернапалм», який особливо активно самозаймається на вологій поверхні й на снігу (тобто особливо ефективний в умовах підвищеної вологості та опадів). Пірогелі одержують шляхом додавання до напалму у вигляді порошку або стружки натрію, магнію, фосфору, а також алюмінію, вугілля, асфальту, селітри та інших речовин. Температура горіння пірогелів досягає 1600°C. За своїми бойовими властивостями переважають напалми. На відміну від звичайних напалмів пірогелі важчі за воду, горіння їх триває лише до 5 хв. Термітні суміші представляють собою порошкоподібну спресовану суміш, частіше всього алюмінію і окислів заліза. Коли терміт горить, температура піднімається до 3500 °C. Характерно, що він горить без доступу кисню та не утворює відкритого полум'я. Термітні брикети за кольором та структурою схожі на сірий чавун. Вони можуть пропалювати металеві частини озброєння та військової техніки і виводити їх із ладу. Вказані термітні суміші використовуються в авіаційних запалювальних бомбах.

Білий фосфор представляє собою напівпрозору тверду речовину, яка схожа на віск. Він здатний самозайматися, з'єднуючись з киснем повітря. Горить яскравим полум'ям з густим виділенням білого диму. Температура спалаху порошкоподібного фосфору +34°C, температура полум'я – 900-1200°C. Білий фосфор використовують як запал напалму і пірогелю в запалювальних боєприпасах [40].

Пластифікований фосфор (з добавками каучуку) набуває здатності прилипати до вертикальних поверхонь і пропалювати їх. Це дає змогу використовувати його для спорядження бомб, мін, снарядів.

Електрон – сплав магнію (до 90%), алюмінію (до 9%) та інших елементів (1%). Займається при температурі 600°C і горить сліпучим білим або голубуватим полум'ям, розвиваючи температуру до 2800°C. Використовується для виготовлення корпусів авіаційних запалювальних бомб.

Самозаймиста запалювальна суміш складається з поліізобутилену і триетиленалюмінію (рідке пальне). Термобаричні рецептури створені на підставі металізованих вогнесумішей з підвищеними властивостями ураження. Їх особливість полягає в тому, що спочатку їх розпилюють у певному об'ємі, а потім підпалюють. Уражувальна дія полягає у миттєвому підвищенні температури та тиску у місці застосування [41-43].

За своєю дією термобаричні боєприпаси схожі на боєприпаси об'ємного вибуху та вакуумні заряди, а відрізняються тим, що розпилена суміш не миттєво детонує, а миттєво згорає. До засобів бойового застосування речовин відносять: авіаційні напалмові і запалювальні бомби, запалювальні касети і касетні установки; артилерійські запалювальні боєприпаси; вогнемети, реактивні запалювальні гранатомети; пристрілювально-запалювальні і бронебійно-запалювальні кулі; гвинтівкові запалювальні гранати; термітні шашки, кулі і пакети; запалювально-димові патрони; вогневі (запалювальні) фугаси.



Рис. 1.9. Запалювальні пристрої для підпалювання складів з боєприпасами

Масштабні пожежі з вибухами на складах боєприпасів, де наявні магнієві сплави, лише підтверджують актуальність проблеми: Артемівськ Донецька область

2003 рік; Новобогданівка Запорізька область 2004, 2005, 2006 та 2007 роки; Лозова Харківська область 2008 рік; Сватове Луганська область 2015 рік; Балаклія Харківська та Калинівка Вінницька області 2017 рік. І остання пожежа на складах боєприпасів на Чернігівщині. 9 жовтня 2018 року о 03:40 у ДСНС надійшла інформація про те, що на території військового 6-го арсеналу Міноборони біля Дружби і Августовки Ічнянського району на Чернігівщині виникла пожежа з подальшою детонацією боєприпасів. З 16-кілометрової зони можливого ураження (Ічня та 30 прилеглих сіл) евакуювали понад 12,5 тисяч осіб. У медичних установах в Ічні перебувала 91 особа, зокрема 1 дитина [44].

17 лютого 2016 близько 20:20 почалися вибухи на території складів у Запорізькій області. Невідомі особи за допомогою безпілотних літальних апаратів скинули запалювальні предмети на територію об'єкта. В результаті їх вибуху виникли осередки загоряння, які складно було загасити в зв'язку з наявністю сплавів магнію, окремі частинки яких потрапляли під дерев'яні ящики, де зберігались боєприпаси. Для гасіння використовували пожежний танк, ґрунт. Було зафіксовано близько 50 точок загоряння [45].

Як правило, ці пожежі завершувались вигоранням магнію, загибеллю людей та великою кількістю постраждалих. Проводячи аналіз пожеж та вибухів, які виникли з причин загоряння магнію та його сплавів, можна сказати, що це актуальна проблема, яку потрібно вирішувати, розробляти ефективні способи та засоби гасіння пожеж таких класів з врахуванням їх особливостей.

#### **1.4. Характеристика фосфорних боєприпасів**

Фосфорні боєприпаси (рис. 1.10) – тип запальних боєприпасів, споряджених білим фосфором. Крім авіабомб, фосфором начиняють авіабаки, артилерійські снаряди, ракети та реактивні снаряди, артилерійські міни і ручні гранати.



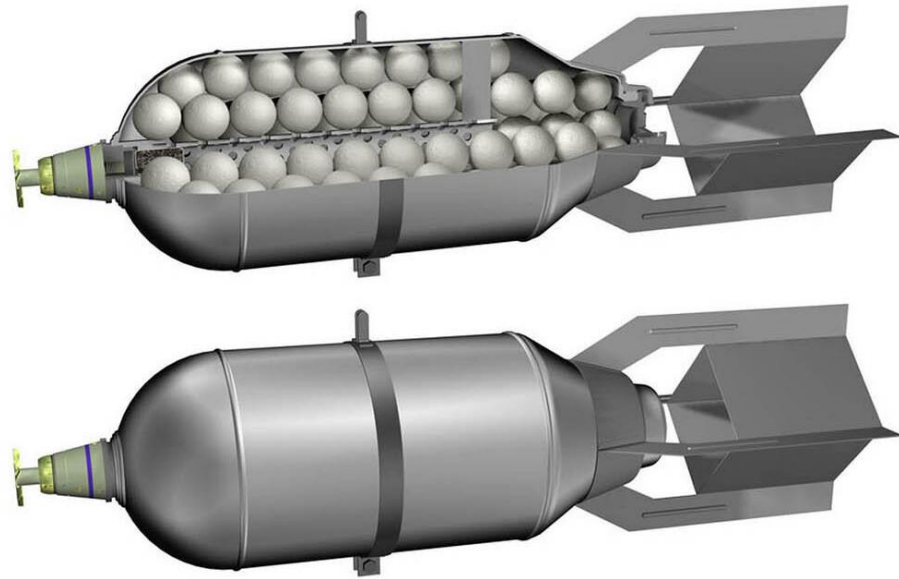


Рис. 1.10. Фосфорні боєприпаси

Фосфорні бомби можна розділити на два види за способом спрацьовування: в повітрі та після удару об поверхню. Перші приводяться в дію керованим детонатором, другі – вибухають безпосередньо при ударі. У результаті удару фосфорною бомбою спалахує сильна пожежа, яку важко загасити.

Фосфорне бомбардування спричиняє:

- масштабні пожежі;
- хімічне забруднення ґрунтів;
- викликає важкі хімічні опіки, ураження кісток і кісткового мозку у разі потрапляння на шкіру людини. Процес застосування фосфорних боєприпасів зображено на рисунку 1.11.



Рис. 1.11. Застосування фосфорних боєприпасів

При горінні білий фосфор розвиває температуру до 1300 °С, однак залежить від типу боєприпасу, навколишньої температури та вологості. Процес горіння фосфору супроводжується рясним виділенням густого їдкого білого диму і триває до тих пір, поки не припиниться доступ кисню або не вигорить все речовина.

Через високу температуру горіння (до 1300 °С) фосфорний заряд підпалює все навколо. У радіусі до 150 метрів від епіцентру вибуху у людей буквально обвуглюється шкіра навіть під одягом.

Під час горіння білого фосфору, утворюється гарячий щільний білий дим, котрий складається здебільшого з оксиду фосфору у вигляді аерозолю. Польові концентрації зазвичай нешкідливі, але у разі великих скупчень, дим може викликати тимчасове подразнення очей, слизових оболонок носа та дихальних шляхів. Дим більш небезпечний у закритих приміщеннях, де він може викликати асфіксію та незворотне ураження органів дихання. Для прикладу, Агентство США з реєстру токсичних речовин і захворювань, встановило мінімальний рівень ризику при гострому вдиханні диму для білого фосфорного диму 0,02 мг/м<sup>3</sup> – такий же, як і для парів мазуту. Натомість, хімічна зброя іприт – у 30 разів потужніший: 0,0007 мг/м<sup>3</sup>. Агентство попередило, що дослідження, використані для визначення фосфорного диму, були засновані на екстраполяції з випробувань на тваринах і

можуть неточно відбивати ризик для здоров'я людей. Немає доведених випадків смертельних уражень лише від вдихання диму в бойових умовах.

### 1.5. Галузь застосування магнію

Магній застосовують у вигляді металевих пластин при захисті від корозії морських судей і трубопроводів. Захисна дія магнієвого «протектора» пов'язана з тим, що зі сталеві конструкції і магнієвого протектора (магній стоїть в електрохімічному ряду напружень лівіше, ніж залізо) створюється електричний ланцюг. Відбувається руйнування магнієвого протектора; основна ж сталева частина конструкції при цьому зберігається. У металургії магній використовують як «розкислювач» – речовина, що зв'язує шкідливі домішки в розплаві заліза. Додаток 0,5% магнію в чавун сильно підвищує гнучкість чавуну і його опір на розрив. Використовують магній і при виготовленні деяких гальванічних елементів [46].

Сплави магнію відіграють у техніці дуже важливу роль. Існує ціле сімейство магнієвих сплавів із загальною назвою «електрон». Основу їх становить магній у поєднанні з алюмінієм (10%), цинком (до 5%), марганцем (1-2%). Малі добавки інших металів надають «електрону» різні цінні властивості. Але головною властивістю всіх видів «електронів» є їх легкість ( $1,8 \text{ г / см}^3$ ) і прекрасні механічні властивості. Їх використовують в тих галузях техніки, де особливо високо цінується легкість: в літако- та ракетобудуванні. За останні роки створені нові стійкі на повітрі магнієво-літійові сплави із зовсім малою щільністю ( $1,35 \text{ г / см}^3$ ). Їх використання в техніці є дуже перспективним. Магнієві сплави цінні не лише завдяки своїй легкості. Їх теплоємність в 2-2,5 рази вища ніж у сталі. Апаратура з магнієвих сплавів нагрівається менше від сталеві. Використовують і сплав алюмінію з великим вмістом магнію (5-30%). Цей сплав «магналій» твердіший і міцніший за алюміній, легше обробляється і полірується. Число металів, з якими магній утворює сплави – велике. З діаграми, що ілюструє правило Юм-Розера, бачимо дивовижну особливість магнію – не змішуватися в розплаві зі своїм близьким за положенням у таблиці Менделєєва сусідом – берилієм. Через значні відмінності міжатомних відстаней не утворює магній сплавів із залізом.

Серед кисневих сполук магнію потрібно відзначити оксид магнію  $MgO$ , званий також як «палена магнезія». Він застосовується у виготовленні вогнетривких цеглин тому, що температура його плавлення –  $2800\text{ }^{\circ}C$ . Палена магнезія використовується і в медичній практиці.

Цікаві силікати магнію – тальк  $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$  і азбест  $CaO \cdot MgO \cdot 4SiO_2$ , яким притаманна висока вогнестійкість. Азбест має волокнисту будову, тому його можна прясти і виготовляти з нього спецодяг для роботи у високотемпературних середовищах. Карбонати і силікати магнію у воді нерозчинні.

Інтерес до магнію і сплавів на його основі обумовлений, з одного боку, поєднанням важливих для практичного використання властивостей, а з іншого – великими сировинними ресурсами магнію. Широкою є сфера використання магнію та магнієвих сплавів зі спеціальними хімічними властивостями, наприклад, в джерелах струму і для протекторів при захисті сталевих споруд від корозії. У СНД, як і за кордоном, є великі запаси мінеральної сировини магнію, зручні для його видобування. Це родовища твердих солей, які містять магній, а також розсоли ряду соляних озер. Крім того, магній може вилучатись з морської води. Таким чином, для магнію не стоїть проблема виснаження сировинних ресурсів, яка набуває все більшого значення для багатьох інших, промислово важливих металів. Хоча магній є одним з основних промислових металів, але обсяг його виробництва продовжує помітно поступатися обсягам виробництва алюмінію і сталі. Певну оцінку потреб промисловості в магнії дає огляд його виробництва та споживання в розвинених країнах. Після Другої світової війни і аж до початку 70-х років ХХ століття у них спостерігалось безперервне зростання виробництва і споживання магнію, потім рівень споживання стабілізувався. Найбільшим виробником магнію є США, оскільки його частка у загальному виробництві дещо більша за 50%. Конструкційні магнієві сплави – це лише одна, причому не найбільша за обсягом галузь застосування магнію. Магній широко використовується як хімічний реагент в багатьох металургійних процесах. Зокрема, він застосовується в чорній металургії для обробки чавуну з метою десульфурації. Загалом в останні роки є тенденція до розширення застосування магнію в якості хімічного реагенту. Значна кількість магнію використовується для отримання титану, і треба шукати шляхи підвищення

ефективності застосування його в цих цілях. Виявляється також значний інтерес до магнію і сплавів на його основі як акумуляторів водню [47, 48].

Є певна упередженість до магнієвих сплавів з боку споживачів стосовно їх пожежонебезпеки, низької корозійної стійкості, підвищеної чутливості до концентраторів напружень. Цю упередженість слід долати. У той же час слід продовжити роботи, спрямовані на поліпшення робочих характеристик магнієвих сплавів, зокрема на підвищення їх корозійної стійкості.

Основні тенденції в розвитку споживання магнію в світі.

В останні роки за кордоном положення магнію як одного з масштабних промислових металів утвердилося: у 1980 році вперше в мирний час був перевершений максимальний рівень (1943 року) виробництва магнію військового. Незважаючи на окремі спади, обумовлені загальною несприятливою кон'юнктурою, споживання магнію залишалось стабільним, хоча ціни на нього і виросли в 1,9 раза.

Друге місце за обсягом споживання магнію займає Західна Європа (30%). Споживання магнію в Японії оцінюється на рівні 20-25 тис. тонн на рік, з яких 69% витрачається у виробництві алюмінієвих сплавів і високоміцного чавуну, на виливки з магнієвих сплавів – 4,9%.

Магній за кордоном використовується в багатьох галузях промисловості. Все розмаїття напрямів використання можна умовно розділити на 3 групи [49-51]:

1. Застосування магнію у виробництві алюмінієвих сплавів, за яких додають від 0,5% до 10% магнію. Алюмінієві сплави, що містять магній, відрізняються високою питомою міцністю, корозійною стійкістю і добре обробляються різанням.

2. Приготування сплавів конструкційного призначення на основі магнію. Вміст магнію в таких сплавах 90-98%. Магнієві сплави, які піддаються деформації і литі заготовки з них застосовуються у ряді галузей промисловості, перш за все в аерокосмічній, військовій та автомобільній.

3. Використання магнію як хімічного реагента в чорній та кольоровій металургії для відновлення Be, Ti, U, Zr, Hf та інших металів, в хімії (в основному в реакції Гриньяра), а також як виготовлення анодів для катодного захисту від корозії сталевих конструкцій, підземних трубопроводів і резервуарів. Магній у цих процесах повністю витрачається. Лом і відходи не утворюються, на відміну від

перших двох груп, де він може повторно використовуватися у вигляді вторинних сплавів.

В умовах дефіциту магнію також актуальним є завдання більш раціонального використання наявних ресурсів металу, скорочення втрат його на всіх етапах переробки та використання. Наприклад, більш ефективно може бути використаний вторинний магнієвий сплав типу МА9С6 для легування алюмінієвих сплавів замість первинного металу. Краще виглядає і пряме використання відходів з магнієвих сплавів у вигляді брикетів стружки замість чушкового металу, наприклад, для десульфурзації або модифікування чавуну, у виробництві модифікаторів типу залізо-кремній-магній.

Використання магнію в апаратах космічної та авіаційної техніки, автомобілебудуванні, різних агрегатах і відповідальних приладах висуває особливі вимоги до технології виробництва литва з магнієвих сплавів. Потреба народного господарства в магнії і магнієвих сплавах значно перевищує обсяги їх виробництва. Це ставить перед металургами, технологами та розробниками нові завдання підвищення якості лиття, використання брухту та стружки, створення безвідходних і маловідходних технологій виробництва. Загострюються питання екології.

## **1.6. Фізико-хімічні властивості магнію та фосфору**

### **1.6.1. Фізико-хімічні властивості магнію**

Магній – сріблясто-білий блискучий метал, порівняно м'який і пластичний, добре проводить тепло і електричний струм. Майже в 5 разів легший за мідь, в 4,5 раза легший ніж залізо; навіть алюміній в 1,5 раза важчий за магній. Плавиться магній при температурі 651 °С, але у звичайних умовах розплавити його досить важко. За температури 550 °С він займається і миттєво згоряє з виділенням великої кількості тепла і світла. Смужку магнієвої фольги легко підпалити навіть джерелом запалюванням низької потужності (звичайним сірником), а в атмосфері хлору магній самозагоряється навіть при кімнатній температурі. При горінні магнію виділяється велика кількість ультрафіолетових променів і тепла, наприклад, щоб нагріти 250 мл води від 0 до 100 °С, потрібно спалити всього 4 г магнію. Магній розташований у головній підгрупі другої групи періодичної системи елементів

Д.І. Менделєєва. Порядковий номер його – 12, атомна маса – 24,305. Електронна конфігурація атома магнію в збудженому стані  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$  тому в сполуках він проявляє ступінь окиснення +2. Реакційна здатність магнію багато в чому визначається його електронною будовою. У флуоридній кислоті магній не розчиняється у зв'язку з утворенням плівки з важкорозчинного у воді магній флуориду  $Mg_2F$ , в концентрованій сульфатній кислоті майже нерозчинний. Магній легко розчиняється при дії розчинів солей амонію. Розчини лугів на нього не діють. Магній надходить в лабораторії у вигляді порошку або стрічок. Якщо підпалити магнієву стрічку, то вона швидко згоряє з появою сліпучо білого світла з виділенням великої кількості тепла. Магнієві спалахи застосовували у фотографії та під час виготовлення освітлювальних ракет. Температура кипіння магнію –  $1107^\circ C$ , густина =  $1,74 \text{ г / см}^3$  [52].

Хімічні властивості магнію досить своєрідні. Він легко забирає кисень і хлор у більшості елементів, на нього не діють їдкі луги, сода, гас, бензин і мінеральні масла. З холодною водою магній майже не взаємодіє, але киплячу воду розкладає з виділенням водню. У цьому відношенні він займає проміжне положення між берилієм, який взагалі з водою не реагує, і кальцієм, який легко з нею взаємодіє.

Оскільки продуктом цієї реакції є водень то стає очевидним, що гасіння палаючого магнію водою неприпустиме: може відбутися утворення гримучої суміші водню з киснем і вибух. Не можна загасити палаючий магній і вуглекислим газом: магній відновлює його [53-56].

Припинити до палаючого магнію доступ кисню можна засипавши його піском, хоча і з силіцій оксидом магній взаємодіє, але зі значно меншим виділенням теплоти:



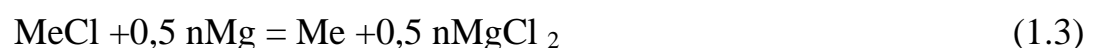
цим і визначається можливість використання піску для гасіння магнію. Небезпека займання магнію при інтенсивному нагріванні є однією з причин, що обмежує його використання як технічного матеріалу.

У електрохімічному ряді напруг металів магній розташований значно лівіше водню і активно реагує з розведеними кислотами з утворенням солей. У цих реакціях у магнію є особливості. Він не розчиняється у флуоридній, концентрованій сульфатній кислотах. Суміш сульфатної та нітратної кислоти розчиняє магній так само ефективно як «королівська вода» (суміш HCl і HNO<sub>3</sub>) інші метали. Стійкість магнію до розчинення у флуоридній кислоті пояснюється просто: поверхня магнію покривається нерозчинною у флуоридній кислоті плівкою магній флуориду магнію MgF<sub>2</sub>. Стійкість магнію до досить концентрованої сульфатної кислоти та суміші її з нітратною азотною кислотою пояснити складніше, хоча і в цьому випадку причина полягає у пасивації поверхні магнію. З розчинами лугів і алюміній гідроксиду магній практично не взаємодіє. А ось з розчинами амонійних солей реакція хоча і повільно, та все ж відбувається:



При нагріванні магнію в атмосфері галогенів відбувається займання галогенідів металів. Причиною займання є значне тепловиділення, як і у випадку реакції магнію з киснем. Так, при утворенні 1 моль магній хлориду з магнію і хлору виділяється 642 кДж. При нагріванні магній сполучається з сіркою (MgS), і з азотом (Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub>). При підвищеному тиску і нагріванні з воднем магній утворює магній гідрид.

Велика спорідненість магнію до хлору дозволила створити нове металургійне виробництво – «магнійтермію» – отримання металів в результаті реакції:



Цим методом одержують метали, які відіграють дуже важливу роль у сучасній техніці – цирконій, хром, торій, берилій. Легкий і міцний «метал космічної ери» – титан практично весь отримують таким способом [53].



Суть виробництва така: при отриманні металевого магнію електролізом розплаву магній хлориду в якості побічного продукту утворюється хлор. Цей хлор використовують для отримання титан (IV) хлориду  $TiCl_4$ , який магнієм відновлюється до металевого титану. На основі цих реакцій працюють титаномагнієві комбінати. Попутно з титаном і магнієм отримують при цьому і інші продукти такі, як: бертолетова сіль  $KClO_3$ , хлор, бром і вироби – фібролітові і ксилітові плити. У такому комплексному виробництві ступінь використання сировини рентабельність виробництва висока, а маса відходів невелика, що особливо важливо для охорони навколишнього середовища від забруднень [53-55, 57-59].

### 1.6.2. Фізико-хімічні властивості фосфору

Фосфор (лат. Phosphorus) P - хімічний елемент V групи періодичної системи Менделєєва атомний номер 15, атомна маса 30,973762 (4). На зовнішньому енергетичному рівні атома фосфору знаходяться п'ять електронів.

Фосфор досить поширений елемент (0,08 % маси земної кори). Концентрація у морській воді 0,07 мг/л. В природі він зустрічається винятково у зв'язаному стані. Найважливішими природними сполуками фосфору є мінерали фосфорит  $Ca_3(PO_4)_2$  і апатит, який у своєму складі містить, крім  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $CaP_2$  або  $CaCl_2$ .

Багаті родовища апатиту є на Кольському півострові, а також у південному Казахстані (гори Каратау), на Уралі, в Естонії, в Україні і в інших місцях.

Фосфор є також постійною складовою частиною живих організмів – рослин і тварин. Особливо значні його кількості містяться в кістках тварин (і людини) у вигляді фосфату кальцію  $Ca_3(PO_4)_2$ . Крім того, фосфор входить до складу нуклеїнових кислот та білків.

Проста речовина – фосфор. Неметал. Утворює декілька алотропічних модифікацій – білий фосфор (густина 1,828,  $t_{\text{плав}}$  44,14 °C), червоний фосфор (густина 2,3,  $t_{\text{плав}}$  590 °C) та ін.

У вільному стані фосфор буває в кількох алотропічних модифікаціях. Найбільше значення мають так звані білий і червоний фосфор.

Білий фосфор – безбарвна воскоподібна речовина з жовтуватим відтінком, через що його називають також жовтим фосфором. Утворюється при швидкому охолодженні пари фосфору. Його густина  $1,82 \text{ г/см}^3$ . Температура плавлення  $44,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура кипіння  $280 \text{ }^\circ\text{C}$ . У воді практично не розчиняється, але добре розчиняється в сірководнеці  $\text{CS}_2$ .



Рис. 1.12. Білий фосфор з жовтим відтінком на зрізі під шаром води

Білий фосфор надзвичайно отруйний – на шкірі залишає хворобливі опіки. Доза його в  $0,1 \text{ г}$  – смертельна для людини. Працювати з ним слід дуже обережно.

На повітрі білий фосфор легко окиснюється. При цьому частина хімічної енергії перетворюється у світло. Тому білий фосфор у темряві світиться.

Білий фосфор – легкозаймиста речовина. Температура його займання  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , а в дуже роздробленому стані він самозаймається на повітрі навіть при звичайній температурі. Тому білий фосфор зберігають під водою.

Молекули білого фосфору мають кристалічну решітку, в вузлах якої знаходяться молекули  $\text{P}_4$ , що мають форму тетраедра.

Червоний фосфор – порошкоподібна речовина червоно-бурого кольору. Утворюється при тривалому нагріванні білого фосфору в герметично закритому посуді при температурі близько  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Червоний фосфор не отруйний і не розчиняється у сірководнеці. Густина  $2,20 \text{ г/см}^3$ . Запалюється червоний фосфор лише при температурі  $240 \text{ }^\circ\text{C}$ . При нагріванні не плавиться, а переходить

безпосередньо з твердого в газоподібний стан (сублімує). При охолодженні пари фосфору переходять у білий фосфор.

Чорний фосфор – за зовнішнім виглядом схожий на графіт, жирний на дотик, володіє напівпровідниковими властивостями, має шарувату будову. Утворюється також з білого фосфору при тривалому нагріванні (200 °С) під великим тиском (1220 МПа).

Фосфор – це дуже вогнебезпечна, воскоподібна речовина від безбарвного до жовтого світлопроникного кольору із гострим запахом часнику. Форма, в якій вона використовується військовими, дуже активна і спалахує від контакту з киснем. Фосфор – самозапальний матеріал. Через це його зберігають під водою, у закупорених посудинах та за мінімального освітлення.

При попаданні на шкіру людини фосфор викликає важкі опіки, а після потрапляння фосфору всередину організму відбувається отруєння, що викликає мученицьку смерть. Смертельна доза для людини становить 0,05-0,15 г. Отруєння вражає кістки, кістковий мозок, викликає некроз щелепи. Фосфор застосовують у виготовленні мінеральних добрив, а також для так званих фосфорних бомб.

### **1.7. Основні напрямки захисту від пожеж і вибухів при роботі з магнієвими сплавами**

Основні властивості магнію. Тверда речовина. Метал. Сріблясто-білого кольору. Нелеткий. Температура плавлення +651 °С. Температура кипіння +1107 °С. Бурхливо реагує з водою – виділяє горючі гази і велику кількість тепла. На повітрі здатний займатися, у вологому середовищі згоряє з вибухом. Температура горіння +2800°С [60, 61]. Вибухо- та пожежонебезпечний. Горючий. Можливе самозаймання 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. Горить в атмосфері діоксиду вуглецю. В атмосфері чистого сухого азоту магній займається. При температурі більше 400°С пил магнію енергійно взаємодіє з азотом, виділяючи тепло. Тому атмосфера азоту не може вважатися інертною [60].

Основними напрямками захисту від пожеж і вибухів при роботі з магнієвим пилом є такі [62-68]:

1. Механічна обробка магнієвих сплавів повинна проводитися гострим і правильно загостреним інструментом, забезпечуючи при цьому мінімальну величину тертя.

2. Для гасіння пожежі, де горить магній, використовувати воду не можна, оскільки від зіткнення з водою розпечений магній вибухає.

3. Застосовувати  $\text{CO}_2$  для гасіння речовин, що містять у своєму складі магній є неефективно.

4. При обробці виробів на токарних, фрезерних, стругальних і інших верстатах охолодження повинно проводитися маслом або струменем повітря. Охолодження водою оброблюваних виробів із магнію та його сплавів не допускається, оскільки нагріта вода при взаємодії з магнієм виділяє водень.

5. Слід намагатися звести до мінімуму можливість утворення іскор. Для того кожухи верстатів, повітроводи повинні бути виготовлені з металів, які при ударі не утворюють іскор.

6. Пил, який утворюється при обробці виробів, відсмоктується за допомогою спеціальної вентиляційної системи.

7. Систематично проводити прибирання приміщень від пилу та протирати обладнання.

8. Електрообладнання верстатів і цехи в цілому повинні бути тільки у вибухозахищеному виконанні.

9. Локалізація горіння магнієвих сплавів здійснюється піском, порошком окису магнію, графітом.

Нас в першу чергу цікавлять питання, як горить магній та як його гасити і в яких випадках це відбувається. Магній та його сплави часто використовуються в апаратах космічної та авіаційної техніки, автомобілебудуванні, різних агрегатах і відповідних приладах. Найчастіше горить магнієва стружка або вироби з магнієвих сплавів, особливо в подрібненому стані. Пожежі шасі літаків виникають в основному при посадці і пов'язані, головним чином, з горінням гальмівного барабана, що призводить до загоряння гуми покришок коліс, при цьому

розвивається висока температура, яка може викликати загоряння магнієвих сплавів барабанів коліс візка шасі, яке настає звичайно через 6-8 хвилин пожежі [69].

Виникає необхідність у застосуванні ефективних вогнегасних порошоків спеціального призначення та засобів його подачі для гасіння такого класу пожеж.

Для гасіння магнію та його сплавів використовуються такі вогнегасні речовини [70-76]:

- засипання палаючого магнію великою кількістю сухого графіту;
- універсальним засобом для гасіння палаючого магнію і його сплавів є сухий мелений флюс, що вживається при плавленні магнієвих сплавів. Запас цих флюсів повинен постійно бути на робочих місцях і зберігатися в герметичній тарі. Для гасіння пожеж магнієвих сплавів при обробці різанням застосовують патрони, заряджені флюсом [77];

- застосування трихлориду бору для гасіння магнієвого полум'я. Трихлорид бор взаємодіє з палаючим магнієм, утворюючи хлорид магнію, який припиняє доступ повітря до палаючої поверхні;

- засипання палаючого магнію сухим пилоподібним карналітом або піском.

Всі запропоновані вогнегасні речовини випробовувались при гасінні невеликих загорянь в лабораторних умовах. Вогнегасні порошки, які випускаються в Україні, не придатні для гасіння пожеж легких металів. Крім того, при подачі під тиском порошку палаюча стружка магнію або його крупинки розбризкуються і збільшують площу горіння. При проведенні навчань з гасіння запалювальних пристроїв з магнієм у Запорізькій області пісок виявився малоефективним вогнегасним засобом ще й не технологічним при подаванні. До негативного результату призвело і гасіння вуглекислотними та порошковими вогнегасниками.

Для гасіння великомасштабних пожеж ці засоби не в повній мірі апробовані, не визначені оптимальні вогнегасні речовини, не відпрацьована технологія гасіння, не проведений економічний розрахунок доцільності гасіння відповідною вогнегасною речовиною.

При проведенні аналізу пожеж, які виникли під час загоряння магнію та його сплавів, постає проблема у підвищенні ефективності порошкового пожежогасіння

пожеж магнію і його сплавів та методики дослідження гасіння легких металів. При цьому треба врахувати [78], що:

- магній згоряє у вологому середовищі з вибухом. При взаємодії з водою виділяє горючі гази і велику кількість тепла. Горить в атмосфері діоксиду вуглецю. В атмосфері чистого сухого азоту магній займається. При температурі більше 400<sup>0</sup>С пил магнію енергійно взаємодіє з азотом, виділяючи тепло. Тому атмосфера азоту не може вважатися інертною;

- при подаванні вогнегасної речовини під високим тиском, магній, що горить, розбризкується і збільшує відповідно площу горіння.

### **1.8. Мета і задачі досліджень**

Для вирішення мети роботи, що полягає у науковому обґрунтуванні технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору, а також вдосконаленні рецептур вогнегасних порошків та засобів їх подавання для гасіння пожеж класу А, В та легких металів та сполук фосфору, необхідно вирішити такі задачі;

- провести статичний аналіз пожеж в Україні та світі за 2011-2021 роки;
- проаналізувати відомі методи гасіння пожеж за наявності легких металів;
- проаналізувати українські та зарубіжні вогнегасні речовини, призначені для гасіння легких металів та сполук фосфору;
- вдосконалити рецептуру вогнегасних порошків на гасіння пожеж класу А, В та легких металів і сполук фосфору;
- вдосконалити конструкцію заспокоювача для подавання вогнегасних порошків та піни при гасіння пожеж класу А, В та легких металів і сполук фосфору;
- розробити рекомендації з гасіння легких металів чи фосфорних сполук.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ЛЕГКИХ МЕТАЛІВ ЧИ ФОСФОРНИХ СПОЛУК

#### 2.1. Оптимізація рецептур вогнегасних порошків спеціального призначення комбінованої дії

При горінні магнію температура може зростати понад 2000 °С. Тому деко для насипання стружки сплаву магнію має бути з термостійкого матеріалу. Стружку магнію важко підпалити, для цього використаємо газовий пальник.

Щоб визначити вогнегасні характеристики окремих складників порошку, які надалі будуть використовуватись для виготовлення порошків для гасіння магнієвих сплавів, необхідно провести вогневі випробування. Експеримент в лабораторних умовах пропонуємо проводити за розробленою нами методикою.

Увімкнули обладнання, перевірили його справність. В якості пожежного навантаження використовуємо стружку сплаву магнію з якого виготовляють барабани коліс літаків. Підготували наважку вогнегасних речовин. Стружку сплаву магнію (20 г) висипаємо на термостійке деко та рівномірно розподіляємо по площі 200x100 мм. Деко встановлене у лабораторній шафі. Увімкнули вентиляцію лабораторної шафи та одягнули засоби індивідуального захисту. Газовим пальником підпалюємо магнієвий сплав. Після розповсюдження полум'я на площу більше 50% розпочинаємо процес гасіння однією з підготовлених вогнегасних речовин (рис. 2.1) [79-81]. Досліджуваний вогнегасний склад насипаємо на поверхню, що горить, рівномірно. Закриваємо засувки, видаляємо леткі продукти згорання в атмосферу при повній потужності вентиляційної системи. Результати гасіння (рис. 2.2) зафіксуємо в таблиці 2.1 та 2.2, де вказуємо витрату вогнегасної речовини, час гасіння та розраховуємо інтенсивність подачі вогнегасної суміші. Очищаємо випробувальну шафу від твердих залишків магнієвих сплавів.

При проведенні експериментів необхідно дотримуватись заходів безпеки:

1. Провести інструктаж з особовим складом, який буде участь у проведенні експериментів.

2. Персонал, зайнятий роботами з порошками, має бути забезпечений засобами індивідуального захисту (при гасінні використовувати захисні окуляри та захисні рукавиці, при роботі з порошками – ще і респіратори).

3. Для захисту рук від порошку застосовувати силіконовий крем або інший аналогічний.

4. Для гасіння не використовувати воду.

5. Перевірити наявність та укомплектованість медичної аптечки.



Рис. 2.1. Випробування вогнегасних порошків для гасіння сплавів магнію в лабораторних умовах

Таблиця 2.1

Результати проведення досліджень окремих хімічних складників вогнегасних порошків для гасіння сплавів магнію

№ експерименту	Вид вогнегасної речовини	Витрата вогн. реч., кг	Час гасіння t, с	Примітка
1.	NaCl	0,120	20	Проявляються поодинокі язички полум'я
2.	KCl	0,123	22	Проявляються поодинокі язички полум'я, але через 20 с після гасіння зникають
3.	Каолін, біла глина	0,056	35,5	Прогорає, появляються язички полум'я
4.	FeO	0,13	39,2	Прогорає, з'являються язички полум'я



5.	Аеросил	0,012	31	Не погасили
6.	Стеарат цинку	0,08	34,7	На початку частинки стеарату кальцію підсилювали горіння, а після гасіння утворилася зв'язуюча суміш
7.	Мелена зола	0,173	32,8	Проявляються поодинокі язички полум'я
8.	Мелений шлак	0,218	19,87	Проявляються поодинокі язички полум'я, але через 20 с після гасіння зникають
9.	Амофос	0,1	29,4	Не погасили

З аналізу проведених досліджень окремих хімічних складників вогнегасних порошків для гасіння сплавів магнію встановлено, що найбільш ефективними є NaCl, KCl, мелений шлак, мелена зола. Як правило пожежі за наявності легких металів супроводжуються також горінням ЛЗР, ГР та твердих горючих речовин, тому для того, щоб досягнути результату гасіння комбінованої пожежі, доцільно додати в рецептуру вогнегасного порошку амофос. Хімічна речовина амофос придатна для гасіння пожеж класу В та є основною складовою сертифікованих вогнегасних порошків загального призначення [82]. Також для забезпечення текучості порошку необхідно додавати незначний відсоток опудрювачів, таких як аеросил, стеарат цинку, стеарат кальцію тощо.

Враховуючи вище зазначене необхідно провести експериментальне дослідження сумішей вогнегасних порошків для гасіння пожеж класу В, D

Таблиця 2.2

Результати проведення дослідження сумішей вогнегасних порошків для гасіння сплавів магнію

№ Експерименту	Вид вогнегасної речовини	Витрата вогн. реч., Кг	Час гасіння t, с	Примітка
1	NaCl-45% Шлак-43% Амофос-10% Аеросил-1% Стеарат цинку-1%	0,213	34	Після гасіння, через 10 с горіння припинене
2	NaCl-55% Шлак-28% Амофос-15% Аеросил-1% Стеарат цинку-1%	0,205	33	Після гасіння, через 10 с горіння припинене
3	NaCl-60% Шлак-20% Амофос-18% Аеросил-1% Стеарат цинку-1%	0,218	36	Після гасіння, через 10 с горіння припинене
4	KCl-45% Шлак-43% Амофос-10% Аеросил-1% Стеарат цинку-1%	0,206	35	Після гасіння, через 10 с горіння припинене
5	KCl-55% Шлак-28% Амофос-15% Аеросил-1% Стеарат цинку-1%	0,210	31	Після гасіння, через 10 с горіння припинене
6	KCl-60% Шлак-20% Амофос-18% Аеросил-1% Стеарат цинку-1%	0,219	30	Після гасіння, через 10 с горіння припинене
7	KCl-58% Шлак-20% Бура-20% Аеросил-1% Стеарат цинку-1%	0,195	35	Після гасіння, через 10 с відбувається прогорання

8	NaCl-58% Шлак-15% Мідний купурус-15% Амофос-10% Аеросил-1% Стеарат цинку-1%	0,201	36	Після гасіння, через 10 с відбувається прогорання
9	NaCl-60% Каолін, біла глина - 28% Амофос-10% Аеросил-1% Стеарат цинку-1%	0,215	34	Після гасіння, через 10 с відбувається прогорання



Рисунок 2.2 – Результати випробувань вогнегасних порошків для гасіння магнію

З проведених досліджень бачимо, що найкраще у спроможності гасіння ошурків магнію себе показали склади на основі хлориду натрію, меленого шлаку з відходів металургійного виробництва, амофосу та аеросилу з стеаратом цинку.

## 2.2. Гасіння пожежі легких металів та їх сплавів в лабораторних умовах

Враховуючи результати експериментальних досліджень, що представлені у підрозділі 2.1, необхідно визначити вогнегасні характеристики порошку різної рецептури для гасіння магнієвих сплавів. Для цього проведемо вогневі випробування. Експеримент в лабораторних умовах проводимо за методикою [83, 84].

Увімкнемо обладнання, перевіримо його справність. В якості пожежного навантаження використовуємо ошурки сплаву магнію, з якого виготовляють

барабани коліс літаків, та блок бензинового двигуна. Підготуємо наважку вогнегасних речовин. Ошурки сплаву магнію (20 г) висипаємо на терmostійке деко та рівномірно розподіляємо по площі 15x19 см. Деко встановлене у лабораторній шафі. Увімкнули вентиляцію лабораторної шафи та одягнемо засоби індивідуального захисту. Газовим пальником підпалюємо магнієвий сплав. Після розповсюдження полум'я на площу понад 50% розпочинаємо процес гасіння однією з підготовлених вогнегасних речовин (рис. 2.3) [85-87].

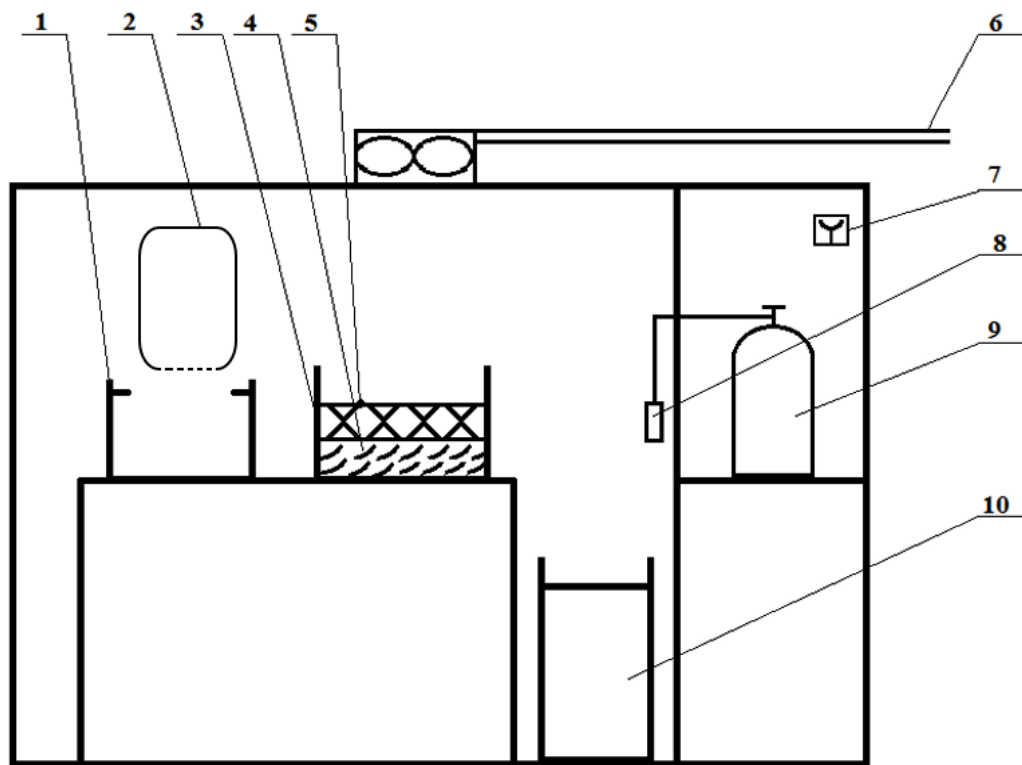


Рис. 2.3. Випробування рецептур вогнегасного порошку в лабораторних умовах: 1 – ємність з ВПСР; 2 – ємність для насипання порошку; 3 – терmostійке деко; 4 – ошурки сплавів магнію; 5 – шар ВПСР; 6 – система димовилучення лабораторної шафи; 7 – вмикач системи вентиляції; 8 – газовий пальник; 9 – балон з газом; 10 – металевий бак для відпрацьованого порошку та ошурків магнію

Досліджуваний вогнегасний склад насипаємо на поверхню, що горить, рівномірно. Закриваємо засувки, видаляємо леткі продукти згорання в атмосферу при повній потужності вентиляційної системи. Результати гасіння зафіксуємо в таблиці 2.1. Знаючи витрату вогнегасної речовини, та час гасіння розраховуємо

інтенсивність подачі вогнегасної суміші. Очищаємо випробувальну шафу від твердих залишків магнієвих сплавів. Інтенсивність подавання вогнегасного порошку визначаємо з формули 2.1.

$$I = m/F \times t \quad (2.1)$$

де  $I$  – інтенсивність подавання вогнегасного порошку на гасіння ошук магнію,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \times \text{с})$ ;

$m$  – маса порошку, витрачена на гасіння,  $\text{кг}$

$F$  – площа горіння магнію,  $\text{м}^2$

$t$  – час подавання вогнегасної речовини,  $\text{с}$ .

Площа горіння у всіх дослідах однакова:  $2,85 \times 10^{-2} \text{м}^2$ . Маса порошку, витрачена на гасіння, фіксується по факту гасіння.

Таблиця 2.3

Результати гасіння магнію та його сплаву різними вогнегасними складами, які містять хлорид натрію, мелений шлак з відходів металургійного виробництва, амофос та аеросил

№ з/п	Компоненти вогнегасного порошку			Інтенсивність $I$ , $\text{кг}/(\text{м}^2 \times \text{с})$
	NaCl, %	мелений шлак, %	амофос, %	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	80	10	7,5	0,25
2	75	13	9,5	0,26
3	70	15	12,5	0,29
4	65	17	15,5	0,3
5	60	20	17,5	0,33
6	55	23	19,5	0,36
7	50	25	22,5	0,38
8	45	27,5	25	0,43
9	45,5	28	24	0,47

10	42,5	30	25	0,5
----	------	----	----	-----

В усіх випадках кількість аеросилу в рецептурі вогнегасних порошків становить 2,5%.

Найдешевший складник в рецептурі є шлак і хлорид натрію. Відомо [3, 88], що оптимальним складом вогнегасного порошку для гасіння сплавів магнію є порошок до складу якого входить мелений шлак, хлорид натрію і аеросил. Найбільше значення у цій рецептурі має хлорид натрію та мелений шлак, але це справедливо для гасіння пожеж класу D.

Для гасіння пожеж класу А і В важливе значення має наявність в рецептурі порошків інгібіторів горіння в кількості біля 10-30%. Основні складники порошків загального призначення: фосфорамонійні солі (моно-, діамонійфосфати, амофос), карбонат і бікарбонат натрію і калію, хлориди натрію і калію та інше.

Найчастіше у рецептурі сучасних порошків використовують амофос (П-2АП, Пірант, П-4АП, П-1А, АВС «Фактор», АВС «Промікс», АВС «Вогнеборець»).

Амофос – складне добриво, що застосовується як ефективне джерело нітрогену та фосфору для рослин. Основним компонентом амофосу є дигідрофосфат амонію  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , також в ньому може бути присутня невелика кількість гідрофосфату амонію  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  (діамофосу).

Крім того, амофос на поверхні магнію при високій температурі більше 1300 °С прогорає. Тому необхідно підібрати такий вогнегасний порошок, який буде мати найнижчу інтенсивність гасіння пожеж класу D, найменше прогорати, при максимальній кількості амофосу. Кожне дослідження проводимо по два рази.

### 2.3. Методи математичного планування експериментів та їх вибір

Методи аналізу процесів пожежогасіння, що містять послідовний підбір/перебір всіх чинників пожежогасіння і класичний регресійний аналіз, характеризуються рядом принципових вад, тому вони не можуть використовуватися як апарат для отримання математичних моделей, керування

і прогнозування процесів пожежогасіння. Використання таких методів призводить до того, що багато з прийнятих рішень є випадковими і не завжди оптимальними.

Сьогодні все більше застосовують нові математичні методи, які дають змогу отримати математичні моделі, що відображають процеси і об'єкти, та дозволяють керувати ними із достатнім ступенем точності та надійності.

При описанні впливу вогнегасного складу порошку на показники ефективності і ефективності процесу пожежогасіння при різних його складах, близькі до оптимуму моделі 1-го порядку, переважно не підходять. Тому досить часто доводиться використовувати поліноміальні моделі другого порядку. Однак, не можливо наперед спрогнозувати ні вид поверхні відгуку, ні область, в якій розташований оптимум.

Для планування експерименту потрібно використовувати плани, які визначають отримання найбільшої інформації за найнесприятливіших умов і за відносно невеликої кількості дослідів, тобто оцінити оптимальність цих планів за різними критеріями.

З'ясовано [89-91], що плани повних факторних експериментів типу  $2k$ , дробових факторних експериментів типу  $2k-p$  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 оскільки ці плани не відповідають одночасно декільком важливим критеріям оптимальності. Так, наприклад, при виконанні критерію ортогональності в планах 2-го порядку порушуються вимоги нормування і рототабельності, тобто цей критерій є недостатнім [92]. Більш сильним критерієм для планів 2-го порядку є критерій рототабельності, котрий забезпечує не лише отримання симетричних інформаційних контурів, але і вельми близький до

ортогональності і дає змогу мінімізувати систематичні помилки, пов'язані з неадекватним представленням результатів експерименту моделями 2-го порядку.

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

З метою дослідження основних чинників пожежогасіння на показники гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук (інтенсивність подавання порошку) вогнегасними складами в процесі гасіння і побудови математичних моделей у вигляді поліноміальних залежностей другого порядку доцільно використовувати метод факторного планування із використанням плану  $3^k$ . Оскільки практичне використання факторного експерименту для отримання цих моделей при числі незалежних змінних  $k \geq 4$  ускладнене через велику кількість дослідів, то запропоновано композиційні плани. Їх отримують на основі додавання до дослідів планів 1-го порядку типу  $2^{k-p}$  ( $k-p \geq 2$  при  $p=0,1,2,\dots$ ) зоряних і нульових точок. При цьому загальне число необхідних експериментів ( $N=2^{k-p}+2^k+n_0$ ) 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 критерію оптимальності планування [92].

Перелік факторів, що впливають на контрольовані параметри процесу пожежогасіння вогнегасним порошком, 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 на гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук, є відповідний склад вогнегасної речовини А (NaCl/KCl), Б (мелений шлак), В (амофос).



### 2.3.1. Планування та опрацювання результатів факторного експерименту

У роботі експериментальні дослідження проводили згідно з планами матриць дробових факторних експериментів (ДФЕ) [93]. ДФЕ проводили відповідно до плану №30 [91], при цьому за основні параметри пожежогасіння вогнегасним порошком прийнято: А (NaCl/KCl фактор  $X_1$ ), Б (мелений шлак, фактор  $X_2$ ) та В (амофос, фактор  $X_3$ ). Інші фактори – незмінні: площа горіння легких металів та фосфорних сполук –  $2,85 \times 10^{-2} \text{ м}^2$ ; вміст аеросилу/стеарату цинку в рецептурі вогнегасних порошків – 2,5 %.

Рівні варіювання факторів для ДФЕ типу №30 [91] наведено у табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Рівні варіювання факторів для ДФЕ типу №30

№ з/п	Компоненти вогнегасного порошку			Інтенсивність I, кг/(м <sup>2</sup> ×с)
	NaCl, %	мелений шлак, %	амофос, %	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	80	10	7,5	0,25
2	75	13	9,5	0,26
3	70	15	12,5	0,29
4	65	17	15,5	0,3
5	60	20	17,5	0,33
6	55	23	19,5	0,36
7	50	25	22,5	0,38
8	45	27,5	25	0,43
9	45,5	28	24	0,47
10	42,5	30	25	0,5

Зв'язки між параметрами оптимізації (геометричними та фізичними параметрами, складовими різних процесів тощо) та характеристиками процесів пожежогасіння приймаємо у вигляді математичних залежностей, що мають вигляд ступеневих функцій. Тому вважаємо, що для процесу гасіння вогнегасним порошком нелінійні за факторами математичні моделі 2-го порядку будуть

адекватно описувати зв'язок між технологічними параметрами процесу пожежогасіння та параметрами оптимізації, зокрема, інтенсивністю подавання вогнегасного порошку для гасіння легких металів та фосфорних сполук. Виконавши стандартне логарифмічне перетворення ступеневі функції отримують рівняння регресії, для якої допустимо використовувати матриці планування експериментів:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2, \quad (2.2)$$

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, щоб існувала обернена матриця  $(X^*X)^{-1}$ .

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

$$N_k = \frac{(k+1)(k+2)}{2}. \quad (2.3)$$

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 обробка результатів [92].

Результати експериментів опрацьовували за методикою, яка містить статистичний аналіз досліджень [93]. Перевірка гіпотези про адекватність отриманої математичної моделі проводиться за даними матриці планування і результатами з неповторними по умовах рядках із застосуванням критерію Фішера для рівня значимості  $\alpha = 0,05$ . Гіпотеза про значимість множинного коефіцієнта кореляції визначається за  $F$  критерієм.

Таблиця 2.5

## Рівні варіювання факторів для ДФЕ типу №30 [92]

№ з/п	Характеристика фактора	Кодоване позначення	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
			Верхній	нижній	
1	NaCl <i>A</i> , %	X <sub>1</sub>	80	42,5	37,5
2	Мелений шлак <i>B</i> , %	X <sub>2</sub>	30	10	20
3	Амофос <i>B</i> , %	X <sub>3</sub>	25	7,5	17,5

### 2.3.2. Дослідно-емпіричні залежності для визначення інтенсивності пожежогасіння класів D, A, B

Параметри подавання розробленого вогнегасного порошку визначають на підставі дослідно-емпіричних залежностей, які характеризують зв'язок основних параметрів пожежогасіння із забезпечуваною інтенсивністю гасіння. Гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук характеризується витратою порошку та його складом у певному відсотковому співвідношенні. Внаслідок цього поверхня гасіння вкривається шаром вогнегасного порошку, який зупиняє процес горіння. Процес гасіння залежить від параметрів та способу подачі вогнегасного порошку відповідного складу у певному відсотковому співвідношенні, які відіграють визначальну роль у підвищенні ефективності процесу пожежогасіння: хлориду натрію/калію (NaCl/KCl) *A*, меленого шлаку *B*, амофосу *B*. Взаємний вплив оптимальних параметрів процесу пожежогасіння на інтенсивність подавання вогнегасного порошку через складність теоретичного прогнозування процесів подавання доцільно досліджувати експериментально.

Вплив оптимального складу вогнегасного порошку на процес пожежогасіння досліджували згідно з матрицями планів, складених на підставі теорії планування багатофакторних експериментів. Ця теорія дає змогу відобразити фізичний процес відповідною статистично-математичною залежністю, а при застосуванні статистичних процедур оброблення даних – належним регресійним рівнянням. Під час пожежогасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук контролювали такий параметр, як інтенсивність подавання вогнегасного порошку *I* за різного його складу. За оптимальні параметри процесу пожежогасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук прийнято:

хлориду натрію/калію (NaCl/KCl) *A*, мелений шлак *B*, амофос *B*. Інші фактори – стабілізовані: площа горіння магнію –  $2,85 \times 10^{-2} \text{ м}^2$ ; вміст аеросилу в рецептурі вогнегасних порошків – 2,5 %. На підставі експериментальних досліджень для процесу пожежогасіння магнієвих ошурок прийнято такі межі зміни факторів:  $A = 42,5 - 80 \%$ ;  $B = 10 - 30 \%$ ;  $C = 7,5 - 25 \%$ .

Матриця планування дробового багатофакторного експерименту і визначені значення інтенсивності подавання вогнегасного порошку, отримані при гасінні комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук, наведено у таблиці 2.3.

Обробку результатів експериментальних досліджень проводили за загальноприйнятою методикою [92]. Математичні залежності у кодованих змінних для визначення інтенсивності подавання вогнегасного порошку після перевірки однорідності дисперсій, відтворюваності у дослідах за критерієм Кохрена, значущості коефіцієнтів регресій за допомогою критерію Стьюдента та адекватності математичних моделей при застосуванні критерію Фішера мають вигляд:

$$y_1 = -0,4589 - 0,3227 \cdot x_1^2 - 0,324 \cdot x_2^2 - 0,3844 \cdot x_3^2 - 0,0327 \cdot x_1 - 0,0392 \cdot x_2 + 0,1408 \cdot x_3 - 0,0372 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0039 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,0481 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (2.4)$$

Таблиця 2.6

## Рівні зміни керованих факторів

A	lg A	Кодування	X <sub>1</sub>	Форма зв'язку
42,5	1,628		-1	7,27 lg A – 12,84
61,25	1,787		0	
80	1,903		1	
Б	lg Б		X <sub>2</sub>	Форма зв'язку
10	1,0		-1	4,19 lg Б – 5,19
20	1,301		0	
30	1,477	1		
В	lg В	$X_i^{\text{код}} = \frac{2(\lg X_i - \lg X_i^{\text{max}})}{\lg X_i^{\text{max}} - \lg X_i^{\text{min}}} + 1$	X <sub>3</sub>	Форма зв'язку
7,5	0,875		-1	3,82 lg В – 4,35
16,25	1,211		0	
25	1,398		1	

$$X_1 = \lg A; X_2 = \lg B; X_3 = \lg B; y = \lg I$$

Таблиця 2.7

Матриця плану

№	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	Y <sub>i</sub> <sup>1</sup>	Y <sub>i</sub> <sup>2</sup>	Ȳ <sub>i</sub> <sup>1,2</sup>
	x <sub>0</sub>	x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	x <sub>2</sub> <sup>2</sup>	x <sub>3</sub> <sup>2</sup>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>12</sub>	x <sub>13</sub>	x <sub>23</sub>			
1	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-0,606	-0,598	-0,602
2	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-0,591	-0,579	-0,585
3	+	0	0	+	0	0	-	0	0	0	-0,545	-0,531	-0,538
4	+	0	+	+	0	-	+	0	0	-	-0,530	-0,516	-0,523
5	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-0,489	-0,473	-0,481
6	+	+	0	0	+	0	0	0	0	0	-0,453	-0,435	-0,444
7	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-0,431	-0,409	-0,420
8	+	+	0	+	-	0	+	0	-	0	-0,375	-0,359	-0,367
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-0,339	-0,317	-0,328
10	+	0	+	0	0	+	0	0	0	0	-0,313	-0,289	-0,301
	B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	ΣȲ <sub>i</sub> <sup>1,2</sup> = -4,589		
	b <sub>0</sub>	b <sub>11</sub>	b <sub>22</sub>	b <sub>33</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>12</sub>	b <sub>13</sub>	b <sub>23</sub>			

$$b_0 = -0,485; b_{11} = -3,227/10 = -0,3227; b_{22} = -3,24/10 = -0,324;$$

$$b_{33} = -3,844/10 = -0,3844; b_1 = -0,327/10 = -0,0327; b_2 = -0,392/10 =$$

$$-0,0392; b_3 = 1,408/10 = 0,1408; b_{12} = -0,372/10 = -0,0372; b_{13} =$$

$$-0,039/10 = -0,0039; b_{23} = 0,481/10 = 0,0481.$$

На підставі аналізу результатів дисперсійного аналізу за величиною та знаком коефіцієнтів регресії із математичної залежності (2.4) можна зробити такий висновок: для гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук найбільший вплив на інтенсивність подавання вогнегасного порошку має амофос (фактор  $x_3$ ) та хлорид натрію (NaCl/KCl, фактор  $x_1$ ). Найбільш впливовою є взаємодія факторів  $x_2 \cdot x_3$ , після неї – взаємодія  $x_1 \cdot x_2$ . Збільшення величини цих факторів до значень, що наближаються до максимальних, забезпечує найкращу інтенсивність подавання вогнегасного порошку. Порушення

взаємозв'язку між цими факторами різко погіршує інтенсивність подавання вогнегасного порошку.

У натуральних змінних математичні залежності для відображення змін інтенсивності подавання вогнегасного порошку мають вигляд:

$$\begin{aligned} \lg I = & -0,4589 - 0,3227 (7,27 \lg A - 12,84)^2 - 0,324 (4,19 \lg B - 5,19)^2 - 0,3844 (3,82 \lg B - \\ & 4,35)^2 - 0,0327 (7,27 \lg A - 12,84) - 0,0392 (4,19 \lg B - 5,19) + 0,1408 (3,82 \lg B - 4,35) - \\ & 0,0372 (7,27 \lg A - 12,84) \cdot (4,19 \lg B - 5,19) - 0,0039 (7,27 \lg A - 12,84) \cdot (3,82 \lg B - 4,35) \\ & + 0,0481 \cdot (4,19 \lg B - 5,19) \cdot (3,82 \lg B - 4,35) \end{aligned}$$

$$I = 10^{\lg I} \quad (2.5)$$

На підставі аналізу даних експериментальних досліджень, тобто рівняння регресії і графічних залежностей можна, зробити такі висновки. Забезпечити оптимальну інтенсивність подавання вогнегасного порошку для гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук можна за такого оптимального співвідношення компонентів порошку:  $A = 60\%$ ;  $B = 20\%$ ;  $C = 17,5\%$ . Полегшити це завдання дає змогу побудована дослідно-емпірична залежність. За її допомогою легко можна підібрати необхідний склад вогнегасного порошку для гасіння пожеж класів D, A, B. Ця залежність справедлива не лише для хлориду натрію, меленого шлаку та амофосу, але і для порошоків з близькими вогнегасними властивостями та для гасіння пожеж відповідних класів.

#### **2.4. Полігонні випробування КМ-3 при гасінні пожеж класу B, D**

Попередні випробування для встановлення якісних характеристик проводимо за допомогою порошкового вогнегасника ВП-1 на деках діаметром 0,4 м кількість пального – 2 л води – 4 л. Як видно з таблиці 2, найкращі результати показав вогнегасний порошок складу 2 (амофос – 17,5%, NaCl – 60%, мелений шлак – 20%, аеросил/стеарат цинку – 2,5%). Час гасіння становив 3,4 с.

Таблиця 2.8

## Результати гасіння модельного вогнища з ВП-1

№ з/п	Компоненти вогнегасного порошку			Час на гасіння, t (с)
	NaCl, %	мелений шлак, %	амофос, %	
1	65	17	15,5	8,7
2	60	20	17,5	3,4
3	55	23	19,5	3.4
4	50	25	22,5	3.1



Рис. 2.4. Гасіння макетної пожежі класу В вогнегасним порошком КМ-3

Остаточні випробування проводимо за методикою викладеною в ДСТУ 3675-98 для вогнегасника ВП-2, гасимо модельне вогнище класу 34В загальною площею вогнища 1,07 м<sup>2</sup>. Провели два досліди, пожежа в обох дослідах була загашена за 11 і 10 секунд

Після успішного гасіння пожежі класу В порошком КМ-3 гасимо модельне вогнище ошурок магнію відповідно до Проекту методики [84].



Рис. 2.5. Горіння магнію в металевому деку

Метод випробування порошків ВПСІ передбачає використання вогнегасника з номінальним зарядом 13,6 кг порошку та використання спеціальної насадки-заспокоювача. Вогнегасники, що мають менший заряд, перевіряються використовуючи пропорційно зменшену кількість порошку та площу поверхні горіння [95].

Випробування необхідно проводити в захисному одязі та спорядженні з відповідним рівнем захисту. Всі залишки після проведення випробування повинні бути утилізовані належним чином. Випробування проводять під відкритим небом, в огороженій місцевості для обмеження впливу вітру або у спеціально обладнаному приміщенні, де вентиляція забезпечує необхідну видимість та концентрацію кисню протягом проведення випробування.

Деякі засоби пожежогасіння, що використовуються для гасіння пожеж класу D, є токсичними та / або можуть взаємодіяти з металом, що горить, з отриманням матеріалів, які є токсичними або іншим чином небезпечними (наприклад, фосфати, які реагуючи з металами утворюють фосфіди металів, що розкладаються водою з одержанням фосфіну,  $\text{PH}_3$ , токсичного горючого газу).



Немає комплексних характеристик порошку, який міг би гасити всі пожежі класу D. Для гасіння конкретно взятого металу чи його сплаву розробляють спеціальні порошки цільового призначення, відповідно до цієї методики. Визначають оптимальну вагу порошку, необхідну для гасіння пожежі на певній площі, глибину та інші характеристики порошку при гасінні, заносять їх в таблицю, яка кріпиться на вогнегасник, та вказують в інструкції виробника.

Випробування проводяться на сталевій плиті квадратної форми, розмірами 1×1 м і товщиною 5 мм. Для зручного згортання спаленого металу використовують знімний металевий каркас розмірами (600×600×300 мм).

Щоб розпалити метал для підпалу ошурок використовують газовий або кисневий факел, який може запалити метал за 30 секунд.

Магнієвий сплав повинен містити  $8,5 \pm 1$  % алюмінію і, максимум, 2,5 % цинку, а номінальний розмір частинок повинен становити від 10 мм до 25 мм, шириною від 6 мм до 13 мм та товщиною 0,05 мм.

Магній на основі реагенту повинен містити не менше 99,5% магнію, а номінальний розмір часток повинен становити від 6 мм до 9 мм, шириною 3 мм та товщиною 0,25 мм.

Для випробувань без мастильно-охолоджувальної оливи використовують  $18,0 \pm 0,1$  кг металу для кожного досліду.

#### Процедура проведення випробування

На сталевій плиті квадратної форми розміщують металевий чи дерев'яний каркас з розмірами, відповідно до п. 2. Металевий каркас повинен щільно прилягати до сталевій плити так, щоб не допустити витоків продуктів горіння.

В середину металевого каркасу засипаємо відповідну кількість металу і рівномірно розподіляємо по всій площі сталевій плити граблями або правилом з прямим краєм.

Після цього беремо бензин марки А-92, в кількості 0,127-0,150 л та рівномірно поливаємо поверхню металу, яку будемо розпалювати.

Далі беремо газовий факел, підносимо його до центра площі поверхні металу та тримаємо не довше 30 с .

Пожежа поширюється, доки не займе 25% об'єму металевих ошурок, що горять, або 50% поверхні горіння, залежно від того, що станеться раніше. Після цього вогнегасник може бути розряджений по площі полум'я, за бажанням оператора, постійно чи періодично, відповідно до інструкцій виробника. Необхідно переконатись, що під час подавання порошку на поверхню горіння не розбризкуються ошурки магнію з дека.

Після того, як вогнегасник повністю розряджений, пожежа залишається у стані спокою протягом часу, рекомендованого виробником вогнегасника або протягом 60 хвилин, якщо відповідної рекомендації немає.

Для випробування КМ-3 використовуємо ВП-6. Розраховуємо відповідно кількість магнієвого сплаву до маси заряду ВП-6, засипаємо згідно з розрахунком в квадратне деко 7.94 кг магнієвої стружки. Після закінчення відведеного часу досліджуємо спалену суміш з порошком. Порошок вважається таким, що пройшов випробування, якщо після закінчення відведеного часу: пожежа повністю ліквідована; маса спаленої суміші є більша за 10% від початкової маси металевих ошурок до початку горіння. В нашому випадку вона становила 0,8 кг. В другому досліді маса спалених ошурок становила 0,9 кг, пожежу було погашено за 25секунд. З цього можна зробити висновок, що ВПСП КМ-3 можна використовувати для гасіння пожеж класу D, А та В.

## **2.5. Лабораторні дослідження ефективності гасіння горіння металів**

Для прогнозування можливості теплової ізоляції осередку горіння ошурок сплавів магнію був проведений експеримент в лабораторних умовах (рис. 2.6).

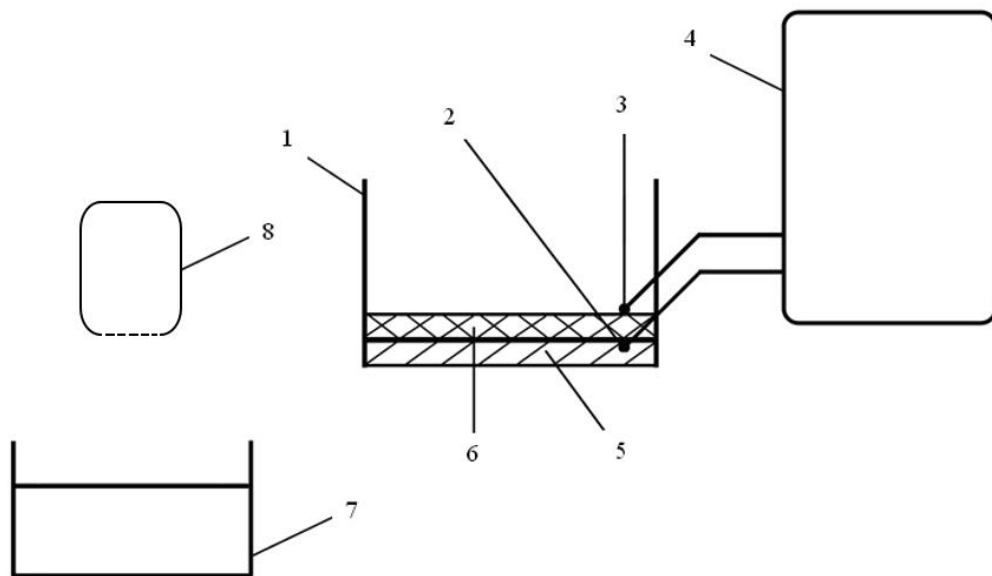


Рис. 2.6. Схема лабораторної установки для визначення ефективності гасіння легких металів: 1 – деко термостійке розміром 15x19см; 2 – термопара для визначення температури на поверхні металу, що горить; 3 – термопара на поверхні порошку на межі з повітрям; 4 – комп'ютер; 5 – ошурки сплаву магнію та алюмінію; 6 – вогнегасний порошок; 7 – посудина з вогнегасним порошком; 8 – посудина для нанесення порошку на горючу поверхню

Експериментальні дослідження проводили для визначення впливу товщини шару вогнегасного порошку на температуру горіння та охолодження магнію. Для досліджень використали склад порошку на основі хлориду натрію, меленого шлаку, амофосу, аеросилу та стеарату цинку.

Співвідношення компонентів рецептури вогнегасного порошку представлено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Рецептура вогнегасного порошку

Компонент	%
Шлак	20
Натрій хлор	60
Амофос	17,5
Аеросил	1,5
Стеарат цинку	1
Всього:	100

Інтенсивність подавання порошку за якої температура  $T_3$  на межі повітря-порошок, буде меншою за  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , становить від  $0,372$  до  $0,93\text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$ .

На рис. 2.7 показано процес насипання порошку при гасінні сплаву магнію.



Рис. 2.7. Насипання порошку при гасінні сплаву магнію в лабораторних умовах

На рис. 2.8 показано процес і вимірювання температури на поверхні при гасінні сплаву магнію.



Рис. 2.8. Процес вимірювання температурних показників на поверхні шару вогнегасного порошку та на стику шару вогнегасного порошку та сплаву магнію під час процесу гасіння ошукорк сплаву магнію в лабораторних умовах

Результати експериментальних досліджень впливу товщини шару вогнегасного порошку на температуру горіння та охолодження магнію представлено на рис. 2.9 - 2.11.

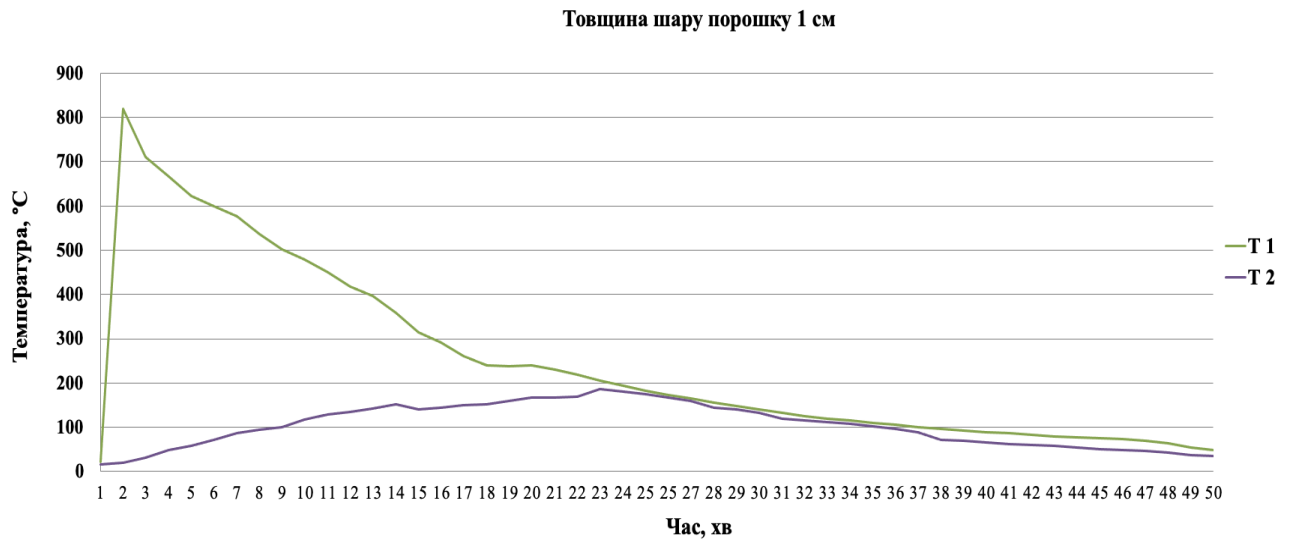


Рис. 2.9. Температурні показники на поверхні шару (1 см) вогнегасного порошку та на стику шару вогнегасного порошку та сплаву магнію під час процесу гасіння ошурок сплаву магнію в лабораторних умовах:

Т 1 – термопара на поверхні металу, що горить;

Т 2 – термопара на поверхні порошку на межі з повітрям

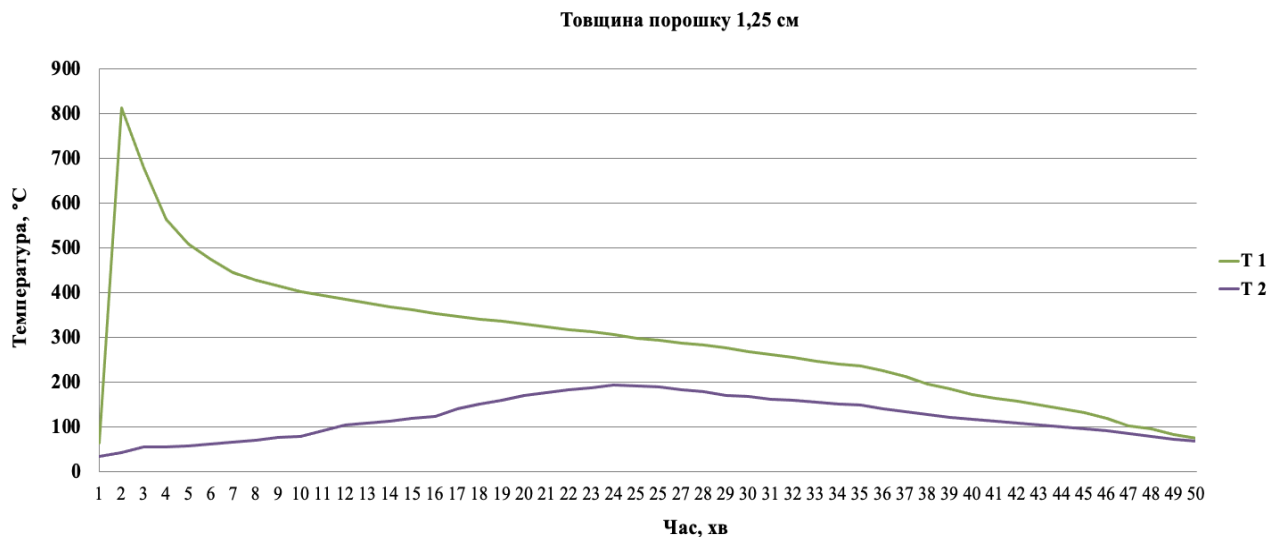


Рис. 2.10. Температурні показники на поверхні шару (1,25 см) вогнегасного порошку та на стику шару вогнегасного порошку та сплаву магнію під час процесу гасіння ошурок сплаву магнію в лабораторних умовах:

Т 1 – термопара на поверхні металу, що горить;

Т 2 – термопара на поверхні порошку на межі з повітрям

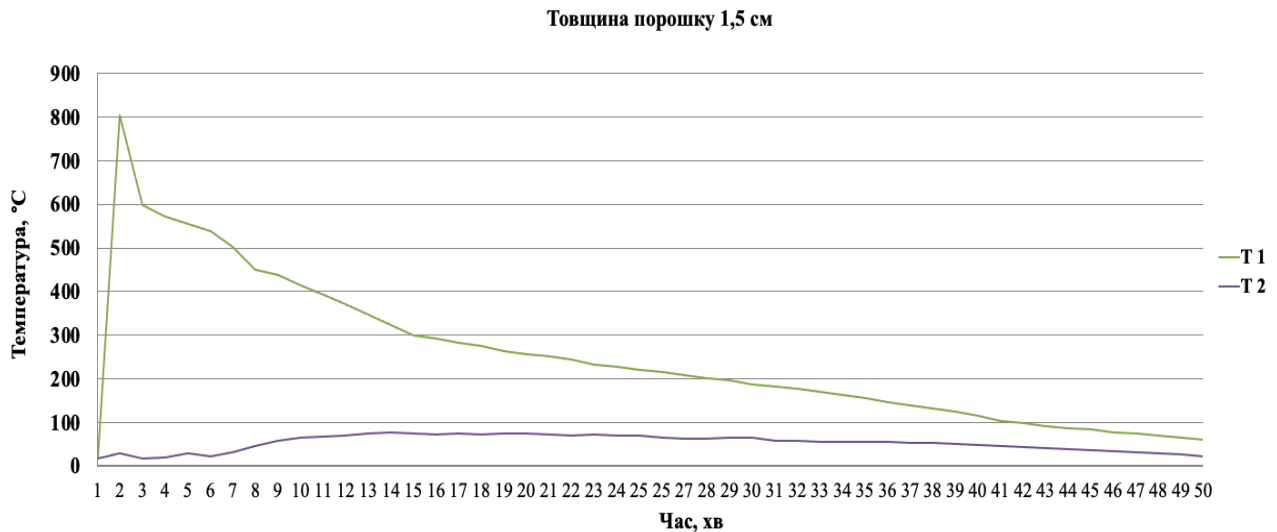


Рис. 2.11. Температурні показники на поверхні шару (1,5 см) вогнегасного порошку та на стику шару вогнегасного порошку та сплаву магнію під час процесу гасіння ошурок сплаву магнію в лабораторних умовах:

Т 1 – термопара на поверхні металу, що горить;

Т 2 – термопара на поверхні порошку на межі з повітрям

Зведені дані температурних показників у шарі вогнегасного порошку під час процесу гасіння ошурок сплаву магнію представлено у табл. 2.10.

Таблиця 2.10

Температурні показники у шарі вогнегасного порошку під час процесу гасіння ошурок сплаву магнію (усереднені дані)

№ з/п	Товщина шару нанесеного вогнегасним порошком, мм	Температура на межі метал / порошок, °C	Температура (Тз) на межі повітря / порошок, °C	Час гасіння, с	Розмір дека, мм	Маса витраченого порошку, г
1	10	820	187	24	150×190	256
2	12,5	812	193	21		320
3	15	803	77	20		384

Отримані дані можна використати для визначення коефіцієнта теплопровідності шару вогнегасного порошку та коефіцієнта теплообміну на границі між повітрям та порошком.

## 2.6. Характеристика вогнегасного порошку спеціального призначення КМ-3

Вогнегасні порошки використовують для ліквідації горіння твердих, рідких та газоподібних речовин. Вогнегасний ефект застосування порошків складається з хімічного гальмування реакції горіння, утворення на поверхні речовини, що горить, ізолювальної плівки, утворення хмари порошку, яка має властивості екрана, механічного збивання полум'я твердими частинками порошку та витискання кисню із зони горіння виділеним  $\text{CO}_2$ . Найчастіше порошки застосовують при горінні лужних і лужно-земельних металів та інших речовин (калію, магнію, натрію), які не можна гасити водою та водяними розчинами.

До найважливіших експлуатаційних властивостей вогнегасних порошків належить їх здатність до:

- хімічного гальмування реакції горіння;
- утворення на поверхні, що горить ізолюючої плівки;
- утворення порошкової хмари, що витісняє кисень з зони горіння;
- механічного збивання полум'я твердими частками.

Завдяки добавкам, вогнегасні порошки мають добру текучість, стійкість проти злежування, грудкоутворення та зволоження і т.ін.

Вогнегасний порошок КМ-3 може бути використаний для гасіння пожеж легких металів чи фосфорних сполук.

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

Головними перевагами вогнегасного порошку КМ-3 є:

- здатність гасіння легких металів та сполук фосфору;
- не токсичність для людей, тварин і довкілля;
- низька вартість та зручність зберігання і використання.

Для більш детальнішої характеристики вогнегасного порошку КМ-3 було

проведено дослідження з визначення фракцій маси порошку, результати досліджень наведені в таблиці 2.11.

Для дослідження фракцій маси порошку використовуємо три лабораторні сита СЛМ-200 з розмірами вічка, рекомендованими для визначення фракцій порошку: 0,1; 0,071; 0,045 мм, кришку та днище, ваги лабораторні ВТУ-210.

Експеримент в лабораторних умовах проводили у такому порядку:

- підготували наважки вогнегасного порошку КМ-3 масою 1000 г;
- склали сита одне на одне за розміром вічка від меншого до більшого;
- засипали одну із наважок вогнегасного порошку, закрили кришкою;
- пересіювали порошок та періодично через 2 хв зважували кількість вогнегасного порошку на ситах. Якщо маса порошку не змінювалась тоді результати заносили в табл. 2.11, дослід проводили три рази.

Таблиця 2.11

Визначення фракцій маси порошку

№ з/п	Кількість порошку під час проведення дослідів, г	Розмір вічка, мм	Маса порошку за фракціями, г
1.	1000	до 0,1	120
		0,1 – 0,071	382,5
		0,071 – 0,045	490
		менше 0,045	7,5
2.	1000	до 0,1	123,5
		0,1 – 0,071	368
		0,071 – 0,045	502,5
		менше 0,045	6
3.	1000	до 0,1	113
		0,1 – 0,071	371,5
		0,071 – 0,045	510
		менше 0,045	5,5

Після проведення дослідження опрацьовуємо результати з табл. 2.11 та визначаємо середнє значення маси порошку в грамах та у відсотковому значенні, записуємо в табл. 2.12.



Таблиця 2.12

## Середні значення маси порошку

Кількість порошку під час проведення досліду, г	Розмір вічка, мм	Середнє значення маси порошку за фракціями, г	Середнє значення маси порошку за фракціями, %
1000	до 0,1	118,83	11,9
	0,1 – 0,071	374	37,4
	0,071 – 0,045	500,83	50,1
	менше 0,045	6,3	0,6

Як бачимо із опрацьованих результатів, кількість порошку фракції в межах від 0,1 мм і менше становить 89 %. Такий відсоток порошку є необхідний для того, щоб при подаванні важкі частинки осідали на горючу поверхню та не роздмухувалися.



Рисунок 2.12. – Дослідження фракцій вогнегасного порошку

Також досліджено показники якості вогнегасного порошку [78, 95], які наведені в табл. 2.13.

Таблиця 2.13

## Показники якості вогнегасного порошку КМ-3

№ з/п	Назва показників якості	Значення параметра
1	Насипна густина не ущільненого порошку кг/м <sup>3</sup> , не більше	920
2	Насипна густина ущільненого порошку кг/м <sup>3</sup> , не більше	1167,5
3	Вологість, % не більше	0,25
4	Вогнегасна здатність, кг/м <sup>2</sup>	не більше 30
5	Стійкість до термічної дії	стійкий
6	Стійкість до вібрації	стійкий
7	Термін зберігання, років, не менше	5

Після закінчення терміну придатності КМ-3 підлягає регенерації або утилізації. Процес регенерації полягає у відновленні властивостей порошку. Для регенерації він відправляється на завод-виробник для відновлення його властивостей і характеристик.

Порошок КМ-3 можна утилізувати в якості піскосумішей у зимовий період для посипання тротуарних доріжок.

## 2.7. Висновки за розділом

1. Розроблено рецептуру порошку КМ-3 для гасіння пожеж класу D та А, В, який складається з хлориду натрію, шлаку, амофосу, аеросилу та стеарату цинку. Площа горіння магнію становила  $2,85 \times 10^{-2} \text{ м}^2$ .

2. На підставі аналізу даних експериментальних досліджень, тобто рівняння регресії і графічних залежностей можна, зробити такі висновки. Забезпечити оптимальну інтенсивність подавання вогнегасного порошку для гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук можна за такого оптимального співвідношення компонентів порошку:  $A = 60 \%$ ;  $B = 20 \%$ ;  $C$

= 17,5 %. Полегшити це завдання дає змогу побудована дослідно-емпірична залежність. За її допомогою легко можна підібрати необхідний склад вогнегасного порошку для гасіння пожеж класів D, A, B. Ця залежність справедлива не лише для хлориду натрію, меленого шлаку та амофосу, але і для порошоків з близькими вогнегасними властивостями та для гасіння пожеж відповідних класів.

3. Проведенням полігонних випробувань розробленого порошкового складу (КМ-3) експериментально підтверджено ефективність гасіння пожеж класу B, D.

4. Експериментально досліджено вплив товщини шару вогнегасного порошку КМ-3 на температуру горіння та охолодження магнію. Встановлено температурні показники у шарі вогнегасного порошку під час процесу гасіння ошук сплаву магнію. Отримані дані можна використати для визначення коефіцієнта теплопровідності шару вогнегасного порошку та коефіцієнта теплообміну на границі між повітрям та порошком.

5. Експериментально встановлені характеристики вогнегасного порошку спеціального призначення КМ-3, зокрема досліджено кількісні показники порошку фракції до 0,1 мм, що становить 11,883%. Такий відсоток порошку є необхідний для того щоб при подаванні важкі частинки осідали на горючу поверхню та не піднімались вгору. Фракція 0,1 – 0,071 мм становить 37,4 %, найбільший відсоток – 50,083% становить фракція 0,071 – 0,045, що свідчить про хороші експлуатаційні характеристики, фракція, менше 0,045 мм становить 0,63 %.

6. Встановлено показники якості вогнегасного порошку, зокрема:

- насипна густина не ущільненого порошку – не більше 920 кг/м<sup>3</sup>;
- насипна густина ущільненого порошку – не більше 1167,5;
- вогнегасна здатність – не більше 30 кг/м<sup>2</sup>;
- забезпечує необхідну стійкість до термічної дії та вібрації;
- термін зберігання – не менше 5 років.

Після закінчення терміну придатності КМ-3 підлягає регенерації або утилізації. Для регенерації він відправляється на завод-виробник для відновлення його властивостей і характеристик. Утилізується КМ-3 в якості піскосумішей у зимовий період для посипання пішохідних доріжок.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ПОРОШКОВО-ПІННОГО ГАСІННЯ

#### 3.1. Моделювання насадки-заспокоювача для подавання порошку

Алгоритм дослідження при розробці насадки-заспокоювача [96, 97]: визначення оптимального тиску при подаванні порошку через заспокоювач – визначення оптимальної відстані насадки від дна заспокоювача – дослідження діаметра та форми насадки – виготовлення оптимальної конструкції заспокоювача – гасіння макетної пожежі. Результати досліджень, отримані за алгоритмом [96], будуть враховуватися для проведення моделювання насадки-заспокоювача.

Для теоретичних досліджень насадки-заспокоювача використаємо програмний продукт COSMOSFloWorks [98-100], який призначений для розв'язування прикладних задач в області аерогідродинаміки та теплопередачі шляхом моделювання відповідних фізичних процесів. COSMOSFloWorks є повністю інтегрованим додатком CAD-системи SolidWorks і може ефективно використовуватись для розрахунків силової (стаціонарної та нестаціонарної) взаємодії між твердими тілами та потоком рідини (газу) у випадку їх взаємного руху; впливу різних фізичних факторів на рух текучого середовища; вирішення проблем теплообміну; розрахунку руху твердих і/або рідких частинок в потоці газу або рідини.

Математична модель будується шляхом геометричного проектування реального об'єкта в середовищі SolidWorks з подальшим автоматичним обміном необхідною інформацією між COSMOSFloWorks та SolidWorks. Рух текучого середовища і теплообмін між тілами моделюється з допомогою рівнянь Нав'є–Стокса, які в нестаціонарній формі описують закони збереження маси, імпульсу та енергії.

Ця система рівнянь збереження маси, імпульсу та енергії нестаціонарного просторового потоку в Декартовій системі координат  $(x_i, i = 1, 2, 3)$  набуває такого виду:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k) &= 0, \\
\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{\partial P}{\partial x_i} &= S_i, \\
\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}((\rho E + P)u_k + q_k - \tau_{ik} u_i) &= S_k u_k + Q_H,
\end{aligned} \tag{3.1}$$

де  $t$  – час;  $u$  – швидкість текучого середовища;  $\rho$  – густина текучого середовища;  $S_i$  – зовнішні масові сили, що діють на одиничну масу текучого середовища;  $E$  – повна енергія одиничної маси текучого середовища;  $Q_H$  – тепло, що виділяється джерелом тепла в одиничному об'ємі текучого середовища;  $\tau_{ik}$  – тензор в'язких напружень зсуву;  $q_i$  – дифузійний тепловий потік, нижні індекси означають підсумовування за трьома координатними напрямками.

Крім цього, використовуються рівняння стану текучого середовища, а залежність теплопровідності компонентів середовища від температури описується відомими емпіричними формулами.

Дифузійний тепловий потік моделюється з допомогою рівняння:

$$q_i = -\left(\frac{\mu_i}{\text{Pr}} + \frac{\mu_i}{\sigma_c}\right) c_p \frac{\partial T}{\partial x_k}, \quad k = 1, 2, 3, \tag{3.2}$$

Для стискуваних середовищ (газів) використовується рівняння стану такого виду:

$$\rho = \rho(P, T, y), \tag{3.3}$$

де  $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$  – вектор концентрацій компонентів текучого середовища. Для газів використовується рівняння стану ідеального газу  $\rho = \frac{P}{RT}$ , де  $R$  – газова стала модельованого газу, яка для суміші газів визначається як  $R = R_{\text{унів.}} \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{M_i}$ , де

$M_i$  – молекулярна маса  $i$ -го компонента газу. Для врахування залежності густини від температури використовується рівняння

$$\rho = \left[ \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{\rho_{0i}} (1 + \beta_{Ti} (T - T_0)) \right]^{-1}, \quad (3.4)$$

де  $\beta_{Ti}$  – коефіцієнт об'ємного теплового розширення  $i$ -го компонента,  $\rho_{0i}$  – густина  $i$ -го компонента при деякій температурі  $T_0$ .

Вплив гравітації моделюється з допомогою члена  $S_i$ , що входить в (3.15), як зовнішня масова сила:

$$S_i = -\rho g_i, \quad (3.5)$$

де  $g_i$  –  $i$ -та складова (вздовж  $i$ -тої осі системи координат) вектора гравітаційного прискорення.

Значний інтерес для нашого випадку становлять двофазові середовища, а саме – потік газу із твердими частинками. Двофазові потоки середовища із рідкими або твердими частинками моделюються як рух цих частинок в стаціонарному потоці газу. Тобто, математична модель ґрунтується на припущенні, що силовий та тепловий вплив частинок на рух газу неістотний. Таке припущення правильне лише в тому випадку, коли масова концентрація частинок в двофазовому середовищі не перевищує 30 %. Визначення опору частинок ґрунтується на тому, що їхня форма є сферичною. Температура частинок визначається із теплообміну з навколишнім середовищем, а оскільки маса частинки є незмінною, то змінюється її розмір. Якщо необхідно, то можна врахувати дію гравітації. Взаємодія частинок з поверхнями твердих тіл моделюється як повне прилипання (краплі рідини) або як відбивання (ідеальне та неідеальне), властиве твердим тілам. Виходячи з цього розраховуються траєкторії руху частинок. Також можна визначати як процес налипання частинок, так і ерозію поверхонь.

Для розв'язку задачі безперервна нестаціонарна математична модель дискретизується як за простором, так і за часом. Для цього вся розрахункова область покривається сіткою, грані чарунок якої паралельні до координатних

площин декартової системи координат. Сітка генерується автоматично з можливістю впливу на розміри чарунок для покращення точності розрахунку. Розрахунки здійснюються за допомогою методу скінченних об'ємів [100].

Розглянемо модель відомої конструкції насадки-заспокоювача [101], конструкційна схема якої представлена на рис. 3.1.

На рис. 3.1 зображено конструкційну схему та розрахункова модель заспокоювача із еліптичним верхом та додатковим еліптичним дзеркалом з врахуванням досліджень, викладених раніше [101].

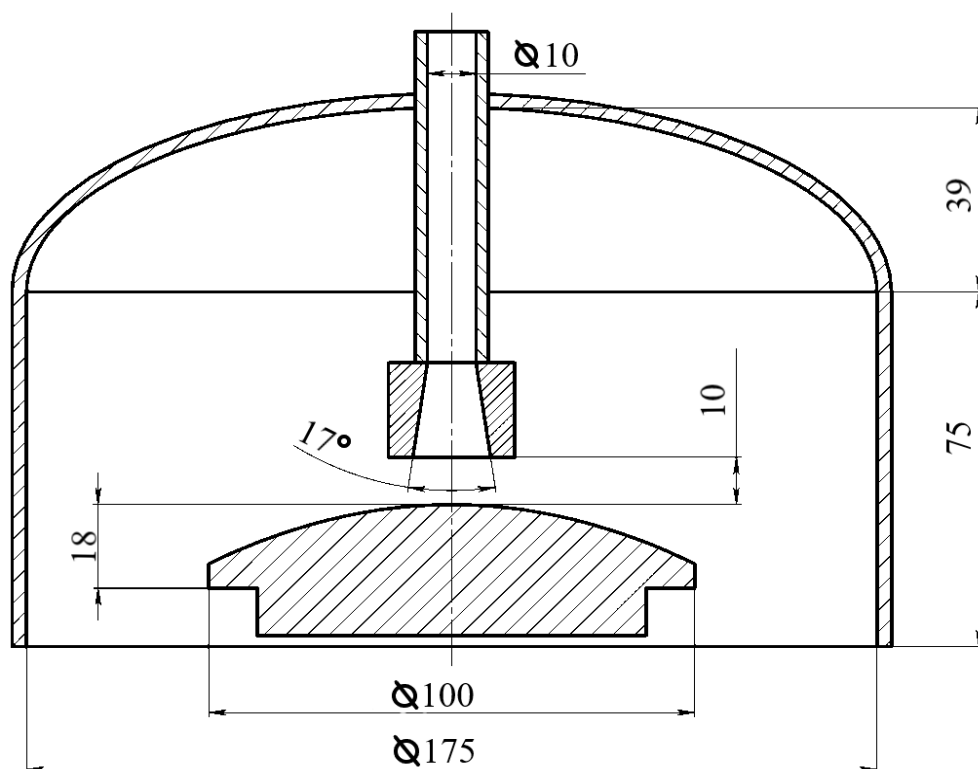
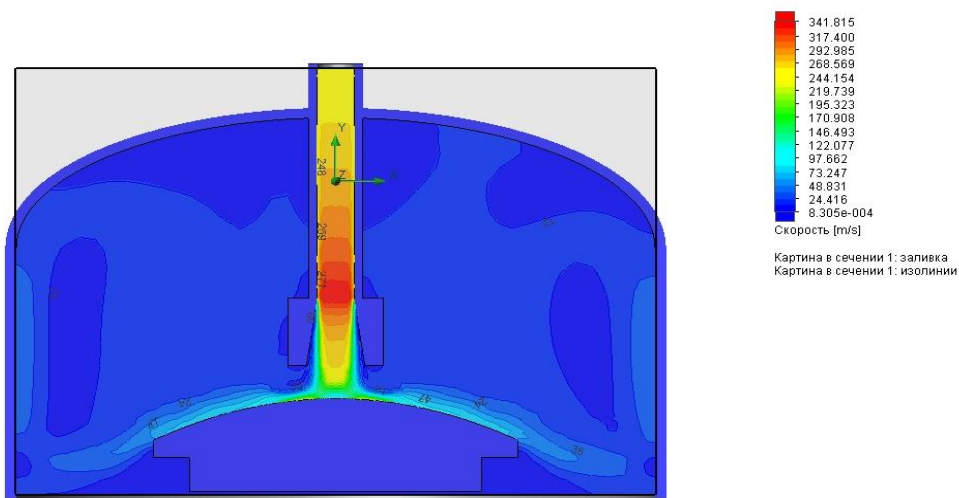
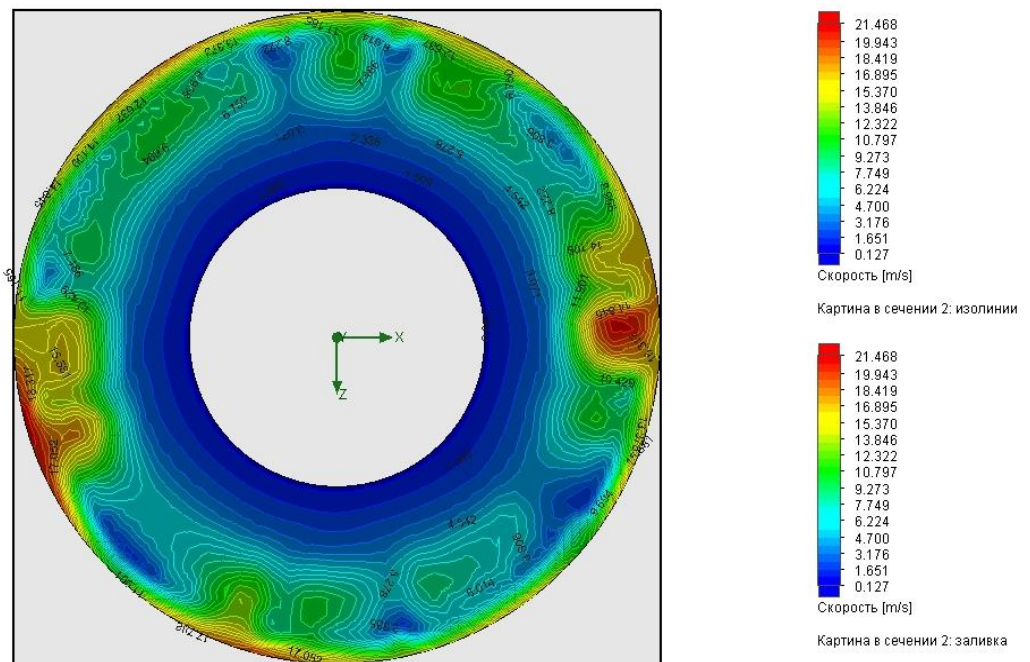


Рисунок 3.1. – Розрахункова модель заспокоювача із еліптичним верхом та додатковим параболічним дзеркалом

Як видно із рис. 3.1, рухоме двофазове середовище, вийшовши із дифузора, вдарятиметься в параболічне дзеркало (відбивач), а вже від нього підніматиметься вгору – до еліптичного днища, відбившись від якого розпилюватиметься в навколишнє середовище та попадатиме на об'єкт гасіння.



а



б

Рис. 3.2. Хромограма витікання газу: а – вертикальний симетричний переріз; б – горизонтальний переріз біля виходу

Хромограми витікання газу в обох перерізах корпусу насадки-заспокоювача представлені на рис. 3.2 а та рис. 3.2 б. Як видно із аналізу рис. 3.2. протікання газу є симетричним та турбулентним, а його швидкість на виході з насадки-заспокоювача, становить 21 м/с.

Високу та симетричну турбулентність протікання газу зображено на рис. 3.3. Потік газу є досить симетрично закрученим і має добре виражені зони



турбулентності, які повинні призводити до гасіння швидкості руху твердої фази рухомого середовища.

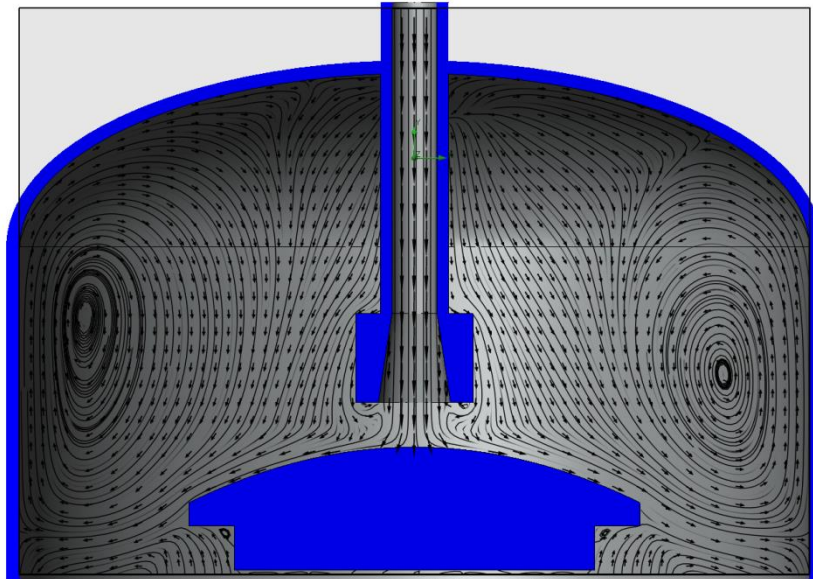


Рисунок 3.3 – Траєкторії руху газу всередині корпусу насадки-заспокоювача із додатковим дзеркалом

Траєкторії руху твердих частинок всередині корпусу насадки-заспокоювача із додатковим параболічним дзеркалом представлено на рис. 3.4.

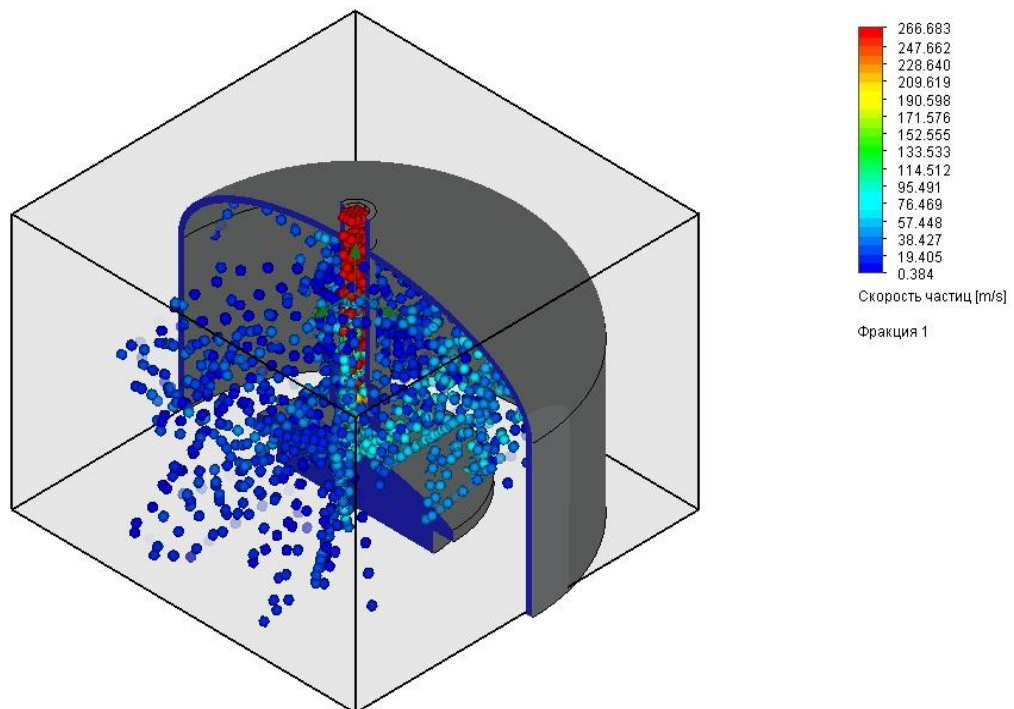


Рис. 3.4. Траєкторії руху твердих частинок всередині корпусу насадки-заспокоювача із додатковим дзеркалом

Як видно із рис. 3.4, частинки твердої фази розпорошені в просторі корпусу насадки-заспокоювача. Траєкторії руху формуються із багатьох зіткнень з поверхнями та труться об закручений потік газу та поверхню насадки-заспокоювача.

Аналізуючи результати моделювання насадки-заспокоювача та експериментальну перевірку адекватності змодельованих процесів в існуючій насадці-заспокоювач [102-104] визначимо основні показники, які потрібно врахувати для вдосконалення насадки-заспокоювача:

- збільшити довжину трубопроводу для безпечного гасіння пожежі;
- збільшити інтенсивність подавання порошку та врахувати можливість подавати піни;
- для виготовлення насадки-заспокоювача необхідно використовувати нержавіючий метал, який буде стійким до корозії;
- необхідно облегшити конструкцію насадки-заспокоювача, з врахуванням стійкості та довговічності.

Для проведення теоретичних досліджень з вдосконалення насадки-заспокоювача використаємо програмний продукт COSMOSFloWorks.

З огляду моделі відомої конструкції насадки-заспокоювача, конструкційна схема якої представлена на рис. 3.1, і враховуючи потрібні для вдосконалення насадки-заспокоювача показники, зобразимо конструкційну схему заспокоювача.

На рис. 3.5. зображено конструкційну схему та розрахункову модель насадки-заспокоювача з врахуванням основних показників наведених вище.

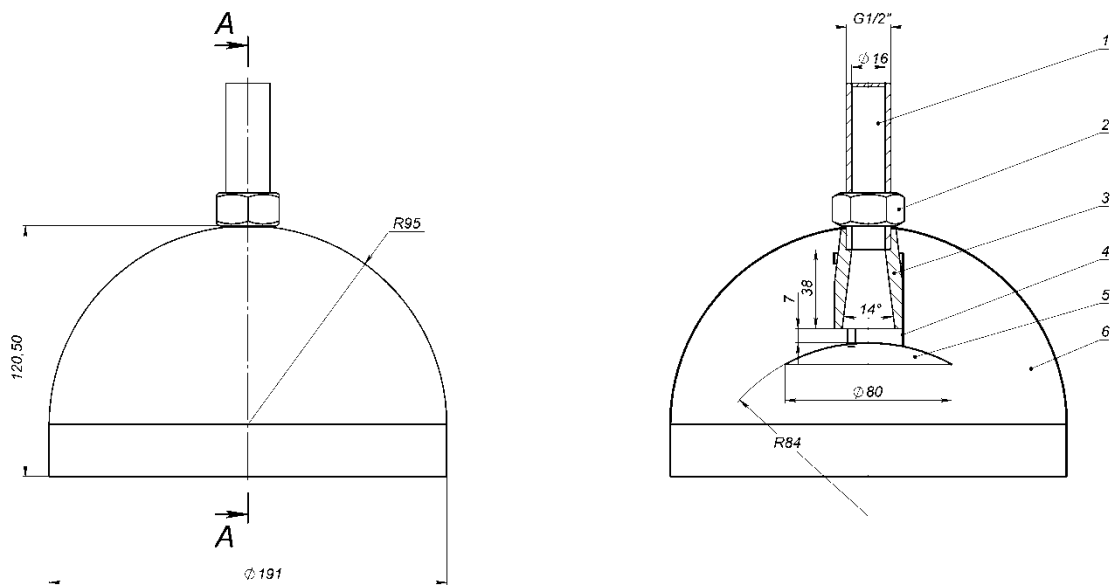
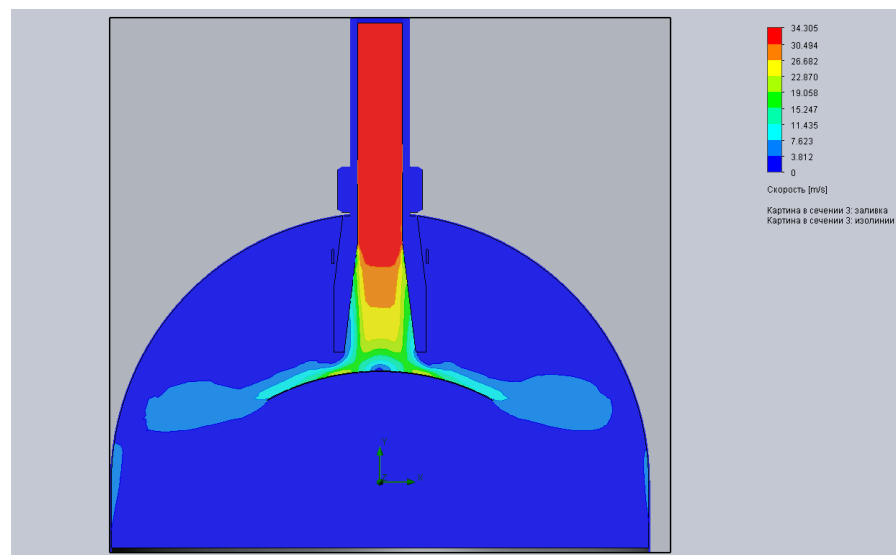


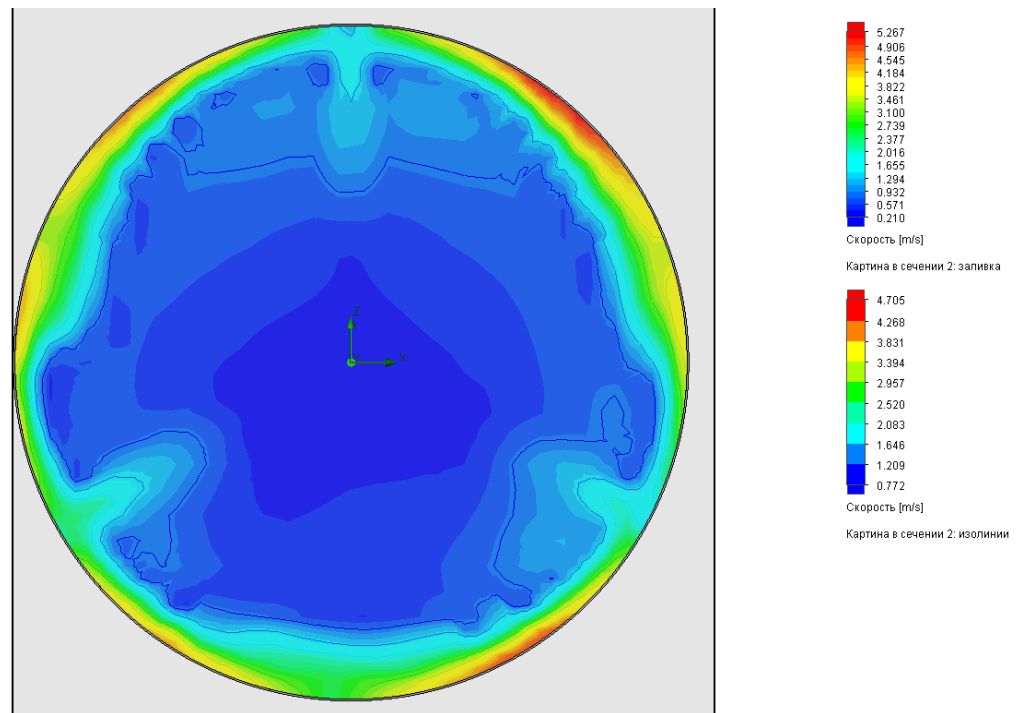
Рис. 3.5. Розрахункова модель вдосконаленої насадки-заспокоювача:

- 1 – штуцер, 2 – гайка, 3 – сопло, 4 – кронштейн кріплення відбивача,  
5 – еліптичний відбивач, 6 – корпус насадки-заспокоювача

Така конструкційна схема має бути більш ефективною, тобто збільшиться інтенсивність подавання порошку та можливість подавати піну.



*a*



б

Рис. 3.6. Хромограма витікання газу: *a* – вертикальний симетричний переріз; *б* – горизонтальний переріз біля виходу

Хромограми витікання газу в обох перерізах корпусу насадки-заспокоювача представлені на рис. 3.6 *a* та рис. 3.6 *б*. Як видно з аналізу рис. 3.6. протікання газу є симетричним та турбулентним, а значення його швидкостей дещо зменшилися порівняно з попереднім варіантом виконання конструкції. Особливо зменшилась швидкість газу на виході із корпусу насадки-заспокоювача – майже у два рази ( з 21 м/с до 11,4 м/с – рис 3.6 *б*).

Високу та симетричну турбулентність протікання газу зображено на рис. 3.7. Потік газу є досить симетрично закрученим і має добре виражені зони турбулентності, які повинні призводити до гасіння швидкості руху твердої фази рухомого середовища.

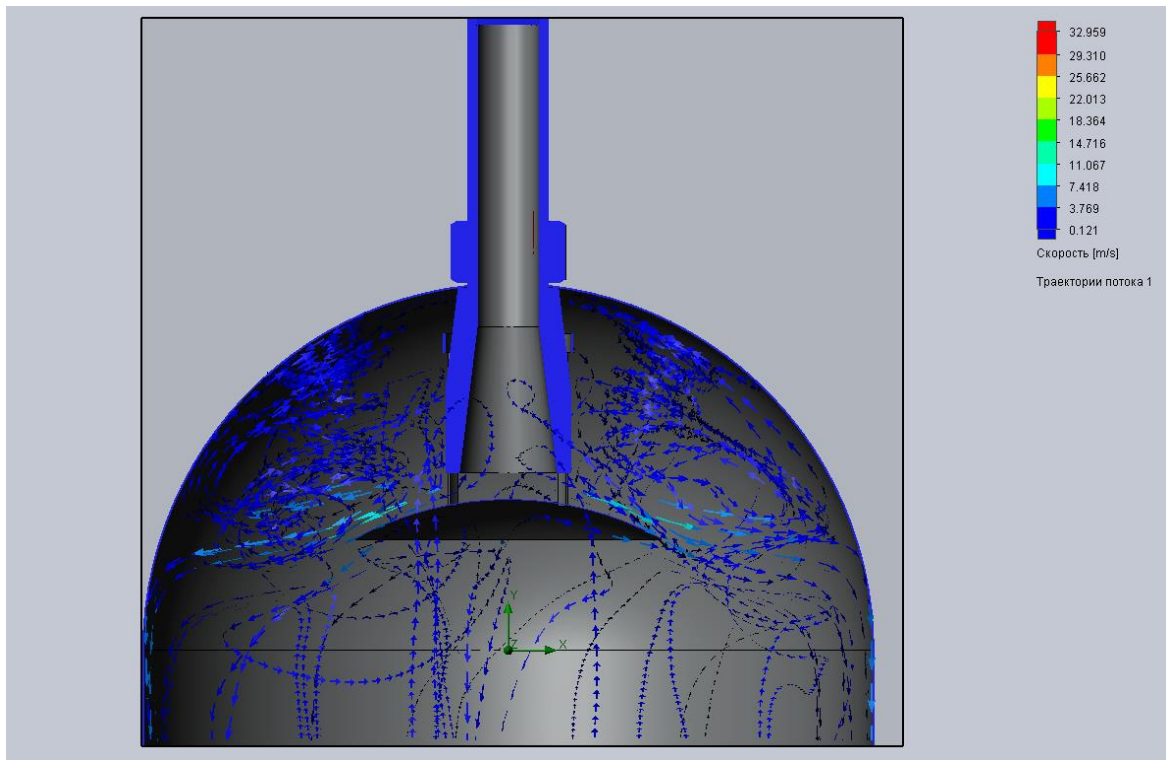


Рис. 3.7. Траекторії руху газу всередині корпусу насадки-заспокоювача

Траекторії руху твердих частинок всередині корпусу насадки-заспокоювача із додатковим параболічним дзеркалом представлено на рис. 3.8.

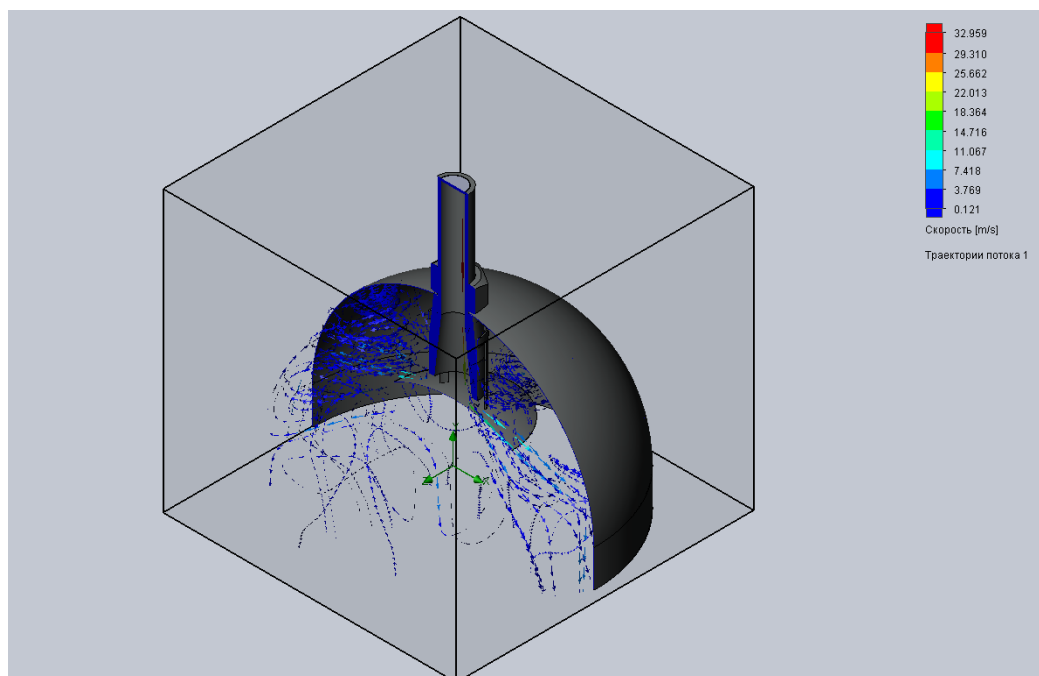


Рис. 3.8. Траекторії руху твердих частинок всередині корпусу насадки-заспокоювача

Як видно із рис. 3.8, частинки твердої фази розпорошені в просторі корпусу насадки-заспокоювача. Траєкторії руху формуються із багатьох зіткнень з поверхнями та труться об закручений потік газу та поверхню вогнегасника. Як наслідок – значення швидкості частинок на виході із корпусу насадки-заспокоювача становить 0,12 м/с, що є в 2,5 раза меншим, ніж у існуючої насадки-заспокоювача.

### **3.2. Експериментальна перевірка адекватності змодельованих процесів в насадках-заспокоювачах**

Експериментальні дослідження проводились методом визначення ефективності порошкових засобів для гасіння макетних пожеж класу D. Для вогнища використали сплав магнію та чистий магній в пропорції 3:1. МЛ5 (7,5–9 % Al; 0,2–0,8 % Zn; 0,15–0,5 % Mn).

Під час проведення експериментальних досліджень використовувалось метрологічно атестоване обладнання та повірені засоби вимірювання з точністю не менше 0,5 %.

Критерієм кращого вибору є, в першу чергу, маса порошку, яка потрапила на об'єкт гасіння, та час подавання порошку. З метою підтвердження конструкційних параметрів заспокоювача проведемо дослідження в полігонних умовах.

Кожний дослід проводимо 3 рази. Результати дослідів, які відрізняються більше ніж на 15 %, до уваги не беруться. Подаємо вогнегасний порошок через порівнювані насадки-заспокоювачі, визначаємо масу порошку, яка потрапила на деко 0,4×0,4 м.

В табл. 3.1. наведені середні значення з уже існуючим двостороннім відбивачем.

Таблиця 3.1

Результати експериментальних досліджень з уже існуючим двостороннім відбивачем порошку

Характеристики	Середнє значення при тиску 1 МПа
Загальна вага, кг	12
Час t, с	30
% порошку, який потрапив на об'єкт гасіння	92
Масова швидкість потрапляння порошку на об'єкт гасіння, $V_m$ , кг/с	0,4
Залишок порошку в балоні, кг	0,022

В табл. 3.2. наведені середні значення з пропонованим нами двостороннім відбивачем.

Таблиця 3.2

Результати експериментальних досліджень із запронованим двостороннім відбивачем

Характеристики	Середнє значення при тиску 1 МПа
Загальна вага, кг	12
Час t, с	20
Відсоток порошку, який потрапив на об'єкт гасіння, %	94
Масова швидкість потрапляння порошку на деко, $V_m$ , кг/с	0,6
Залишок порошку в балоні, кг	0,02

З результатів табл. 3.1 і 3.2 видно, що на поверхню дека  $0,4 \times 0,4$  м потрапило при існуючому двосторонньому відбивачеві 0,92 кг порошку, а при вдосконаленому двосторонньому відбивачеві – 0,94 кг. Тобто у двох випадках на об'єкт потрапляє практично однакова кількість порошку. А час гасіння при існуючому двосторонньому відбивачеві 30 с, при вдосконаленому двосторонньому відбивачеві – 20 с. Тобто інтенсивність гасіння при використанні запронованого заспокоювача є кращою від уже існуючого заспокоювача на 33 %.

На рис. 3.9 зображено процес гасіння пожежі за допомогою уже існуючого двостороннього заспокоювача та розробленого нами заспокоювача (б).



а



б

Рис. 3.9. Гасіння пожежі за допомогою експериментального зразка вогнегасника із заспокоювачем: *а* – існуючий двосторонній відбивач; *б* – запропонований двосторонній відбивач.

Помітною є компактність струменя порошку та його плавність висипання. Порошок рівномірно покриває поверхню горіння. Після гасіння прогарів не спостерігається по всій поверхні.

Розробка може використовуватися при створенні стаціонарних та переносних систем пожежогасіння для гасіння легких металів та сплавів, в тому числі і запалювальних гранат за умови правильного підбору порошку. Досягнуто позитивних результатів під час проведення полігонних випробуваннях насадки-заспокоювача на макетному вогнищі при горінні ошурок сплавів магнію.

Використання насадки-заспокоювача є ефективним для припинення горіння пожеж класу D на початковій стадії, гасіння масштабних пожеж легких металів, для цієї конструкції є неефективною.

При виготовленні запропонованої насадки-заспокоювача потрібно врахувати вимоги до матеріалу, з якого виготовляється насадка. А саме використовувати



нержавіючий метал. Матеріал повинен мати високу температуру плавлення і бути легким, оскільки дасть змогу довший час працювати в зоні високих температур.

### 3.3. Пересувна установка для гасіння (модельних) вогнищ легких металів чи сполук фосфору

Для якісного та швидкого проведення лабораторних випробувальних досліджень, згідно з науково-дослідною роботою, щодо вдосконалення технології гасіння комбінованих пожеж за наявності горіння легких металів, до яких відносяться магній, алюміній, титан та їх сплави, чи фосфорних сполук комбінованим гасінням, було розроблено установку для проведення цих досліджень.

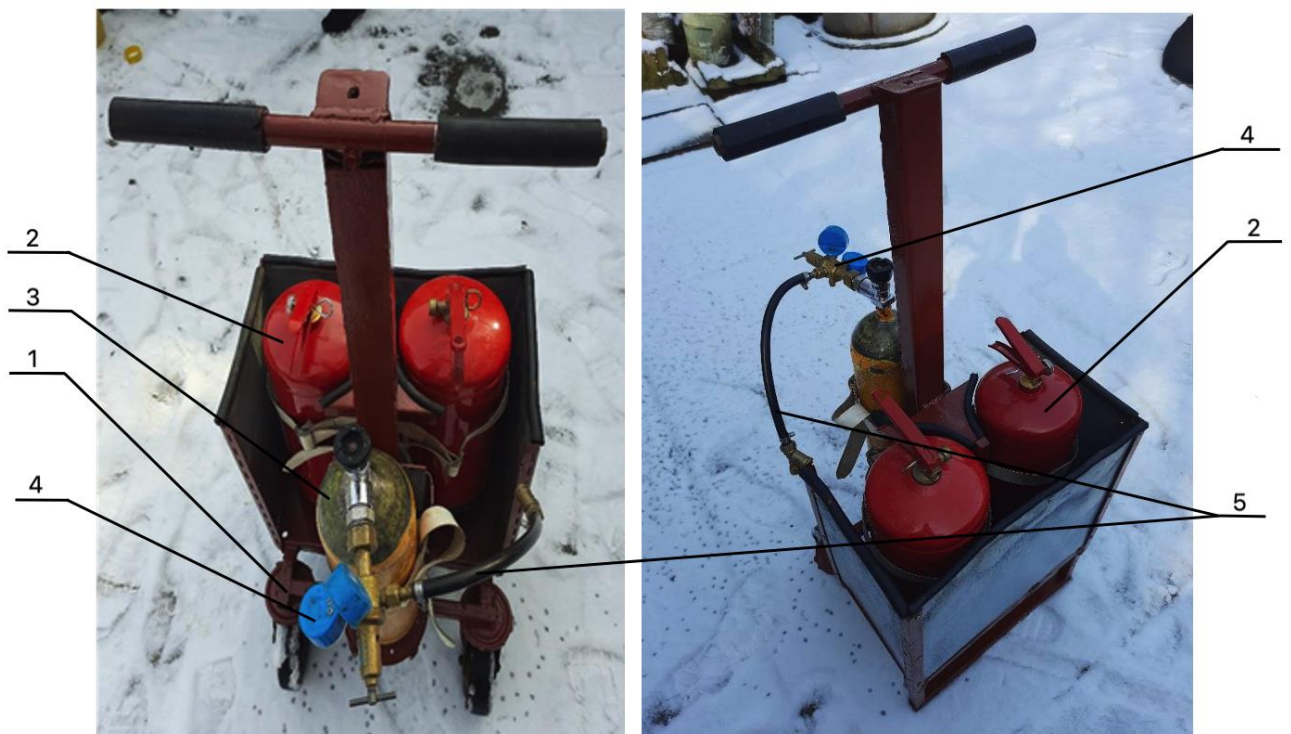


Рис. 3.10. Пересувна установка порошково-пінного гасіння (УППГ):

1 – двоколісне шасі із захисним кожухом, 2 – вогнегасники з вогнегасною речовиною, 3 – балон з газом-витискувачем, 4 – редуктор, 5 – з'єднувальні шланги

Ця установка використовується для гасіння модельних вогнищ на випробувальному полігоні, можливе використання її і під час гасіння невеликих

пожеж магнію та його сплавів, залежно від запасів порошку під час реального загорання.

Установка (рис. 3.10) є пересувною, призначена для транспортування двох балонів з вогнегасними речовинами і балона із стиснутим повітрям. Візок має двоє коліс, захисний екран від теплового випромінювання, штангу із насадкою-заспокоювачем для подавання вогнегасних речовин до осередку горіння.



Рис. 3.11. Штанга із запропонованою насадкою-заспокоювачем:  
(труба, вентилі, заспокоювач)

Стиснене повітря або азот подається із балону (6-7 л) для створення робочого тиску через редуктор (6-10 бар), від редуктора через гумово-тканинний шланг до трійника, а від нього до балона (12 л), зарядженого вогнегасною речовиною – порошком, та другого балона (об'єм 12 л), зарядженого розчином піноутворювача (4-6 %).

Відповідно до поставленого завдання подавання вогнегасної речовини відбувається поетапно: подавання стисненого повітря через редуктор для створення робочого тиску в корпусах вогнегасників 12 л з вогнегасними речовинами та подальшим почерговим подаванням через трійник вогнегасних речовин до місця модельного вогнища через вдосконалену насадку-заспокоювач.

Під час конструювання насадки-заспокоювача враховувалось, що насадка може подавати не тільки вогнегасний порошок, а також і піну (в тому числі і компресійну). Основними параметрами, що дають можливість подавати піну є:

- збільшений діаметр трубопроводу;
- збільшення діаметра насадки на виході піноутворювача.

Під час випробування насадки-заспокоювача в полігонних умовах з подаванням водного розчину піноутворювача (рис. 3.11) видно, як формується піна і рівномірно виходить із насадки-заспокоювача.



Рис. 3.12. Подавання піни за допомогою запропонованої насадки-заспокоювача

Отже, конструктивні особливості насадки-заспокоювача дають можливість подавати піну для гасіння комбінованих пожежі.

### 3.4. Висновки за розділом

1. Проведено математичне моделювання в середовищі SolidWorks, яке дає змогу проектувати різні насадки-заспокоювачі для гасіння пожеж класу D.

Відповідність математичної моделі експериментально перевірена на фізичній моделі, у вигляді заспокоювача для подавання вогнегасного порошку для гасіння пожеж магнію з двома робочими поверхнями – еліптичним верхом та параболічним відбивачем. Встановлено, що час гасіння порошком при уже існуючому двосторонньому відбивачеві становить 30 с, при вдосконаленому

двосторонньому відбивачеві – 20 с. Тобто інтенсивність гасіння при використанні запропонованого заспокоювача є кращою від уже існуючого заспокоювача на 33%.

2. Запропоновано універсальну насадку-заспокоювач для подавання вогнегасного порошку та піни для гасіння пожеж класу D, A, B.

3. Сконструйовано та виготовлено пересувну установку комбінованого гасіння порошком та піною. Ця установка використовується для гасіння модельних вогнищ на випробувальному полігоні, можливе використання її і під час гасіння невеликих пожеж. Площа гасіння пожежі класу D залежить від запасу порошку і сплаву металу, який горить, і становить в середньому 33 кг/м<sup>2</sup> для найскладнішого випадку.

## РОЗДІЛ 4

### ПОЛІГОННІ ВИПРОБУВАННЯ

#### **4.1. Гасіння комбінованої пожежі D, B, A порошком KM-3 та компресійною піною**

Пожежі легких металів, алюмінію, магнію, титану ліквідовують шляхом вкривання поверхні горіння спеціальним вогнегасним D-порошком, який ізолює горючий метал від навколишнього середовища, тим самим не даючи можливості розповсюджуватись горінню по площі. Чистих пожеж класу D, як правило, не буває. Можуть виникати спочатку пожежі ЛЗР або твердих горючих матеріалів, а потім пожежі легких металів, які потребують комбінованих способів гасіння, при цьому потрібно враховувати високу температуру горіння магнію. Від подавання вогнегасної речовини під високим тиском магній та його сплави розбризкуються та збільшують площу горіння. Спочатку треба загасити легкий метал, а потім інші горючі матеріали, пожежі класу A, B. D-порошок може гасити і комбіновані пожежі. Для цього в його склад було введено інгібітори горіння в кількостях, які дають змогу гасити пожежі класів A, B і D. Будь який комбінований порошок буде дещо гірше ізолювати поверхню горючого магнію, трохи більше прогорати, але краще гасити пожежі класу A і B.

##### **4.1.1 Вибір піноутворювачів для гасіння комбінованих пожеж**

При горінні на великих площах горіння є необхідність ізолювати горючі матеріали від навколишнього середовища. Це можна зробити за допомогою піни підвищеної стійкості або компресійної піни на основі піноутворювачів, які дають піну підвищеної стійкості. УкрНДІЦЗ [105] провели серію досліджень на вітчизняних піноутворювачах «Альпен», «Пірена», «Барс S-1» «Барс S-2», «Барс S-1m, і визначили кращий з них для комбінованого пожежогасіння. Ним виявився піноутворювач підвищеної стійкості Барс S-2.

#### 4.1.2. Отримання компресійної піни з використанням ВВП-12 і заспокоювача

Для отримання компресійної піни споряджаємо вогнегасник ВВП-12 піноутворювачем Барс S-2 6% від кількості розчину. Подаємо піну за такою схемою.

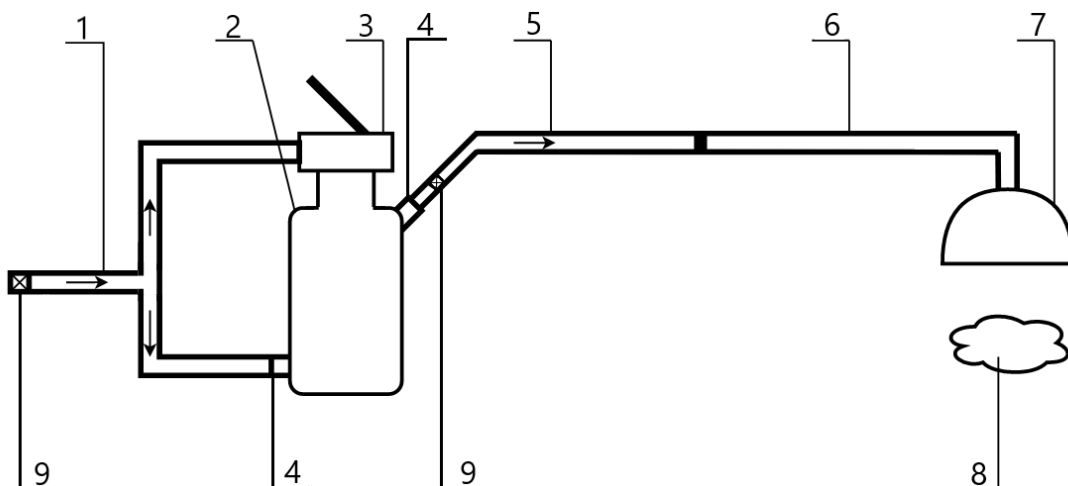


Рис. 4.1. Схема для подавання компресійної піни з використанням УППГ:

1 – трубопровід для подавання повітря; 2 – балон з 6% розчином піноутворювача Барс S-2; 3 – запірно-пусковий пристрій для регулювання кратності піни; 4 – штуцер для приєднання шлангів; 5 – шланг (рукав); 6 – труба-подовжувач; 7 – насадка заспокоювач; 8 – компресійна піна; 9 – запірний вентиль

На рис. 4.2 зображена компресійна піна, яка виходить з насадки-заспокоювача. Піна має високу стійкість, хорошу адгезію. Вогнегасні властивості і перспективи використання досліджуються. Піна отримана дуже простим способом, підготовлений патент на її отримання.



Рис. 4.2. Компресійна піна, яка утворилась з використанням насадки-заспокоювача та 6% розчину піноутворювача Барс S-2

#### **4.2. Гасіння комбінованої пожежі класу D, B, A порошком КМ-3**

Комбінована пожежа має складатись таким чином, щоб були присутні тверді горючі матеріали або горючі рідини за наявності магнію.

Випробування з гасіння пожеж класу А і D проводимо на модельних вогнищах.

Під час випробувань КМ-3 комбінованої дії гасимо окремо модельне вогнище класу D, а потім B та A. У випадку вдалих спроб гасимо комбіновану пожежу.

Проводимо гасіння пожежі класу D відповідно до Методики [84].

Для гасіння пожежі використовуємо заспокоювач з двостороннім відбивачем.



Рис. 4.3. Гасіння магнію порошком КМ-3 з використанням насадки-заспокоювача

Вогнегасний порошок двічі відбивається від еліпсоподібної поверхні, плавно висипається на поверхню горіння, і рівномірно її закриває не розпорошуючи ошурки магнію. Довжина тримача дає можливість оператору перебувати на безпечній відстані від вогнища.

Модельне вогнище класу В представляє собою кругле деко діаметром 1,07 м відповідно до ДСТУ, в яке заливаємо 34 л рідини, де 1/3 – вода; 2/3 – пальне, тобто 23 л бензину марки А-92. Для виготовлення порошку використовуємо рецептуру КМ-3. Дослід проводимо 2 рази, оскільки за два рази вогонь був загашений.





Рис. 4.4. Гасіння модельного вогнища 34В порошком КМ-3

#### **4.2.1. Гасіння комбінованої пожежі D, B, A порошком КМ-3 та компресійною піною**

Наступний дослід – це гасіння комбінованої пожежі з ВВП-12 та ВП-12 зарядженим порошком КМ-3.

Готуємо макетну пожежу горіння магнію, дерев'яних ящиків та бензину (рис. 4.5). За легендою біля складів з боєприпасами горить начинена магнієм запалювальна граната, або горять магнієві ошурки в цеху. Горіння розповсюдилось на дерев'яні, та картонні ящики з запчастинами. Використовуємо 10 кг магнієво-алюмінієвих ошурок, 50 кг дерев'яної ящикотари/деревини. Ошурки засипаємо в металеве деко розмірами 0,6×0,6 м, висота насипання ошурок – 0,2 м. Ошурки розсипаємо шаром 0,02 м по поверхні макетної пожежі 0,3×0,5 м впритул до ящикотари. Розпилюємо над ошурками 1 л води. Все це, дерево і ошурки, обливаємо бензином А-92 в кількості 3 л. Дошки з ящикотари викладаємо над деком 0,4×0,4 м з бортом 0,05 м наповненим мазутом, доливаємо дизпаливо 5 л.



Рис. 4.5. Комбінована пожежа магнію, деревини і нафтопродукту

Розпалюємо за допомогою факела магній. Даємо розгорітись магнію на 2/3 площі, в цей час починає горіти ящикотара (дерев'яні бруски). Вільне горіння відбувається 3 хвилини.

Спочатку подаємо вогнегасний порошок КМ-3 з вогнегасника ВП-12, а потім накриваємо піною підвищеної стійкості або компресійною піною можливу площу горіння (рис. 4.6). Пірометром вимірюємо температуру горіння з відстані 1,5 м. Вона становить 1500 °С. Подаємо порошок КМ-3 на ошурки магнію шаром приблизно 2 см і більше, щоб не було прогарів над ошурками, і як запропоновано у 2 розділі. Подавання струменю проводимо з відстані 0,25-0,35 м., рухаємось від ближнього до дальнього борта дека. Гасіння проводимо з навітряної сторони. Переводимо струмінь частково на дерев'яні матеріали, які горять на межі пожеж класу А і D. Пригашуємо горіння дерева до закінчення порошку. Але тління дерева продовжується, ящикотара (дерев'яні бруски), не накрита порошком, горить, горить і деко з мазутом та дизелем. Після цього подаємо піну низької кратності з вогнегасника ВВП-12. Після гасіння визначаємо шар порошку над сплавом магнію. Він становить 3,1 см.



Рис. 4.6. Гасіння комбінованої пожежі деревини і магнію після подавання порошку піною підвищеної стійкості

Гасіння макетної пожежі пройшло успішно. Порошок наклав магнієві ошурки, на верхньому шарі утворилась кірка. Піна, яка потрапила на цей шар, не зруйнувалась. Вибухів від потрапляння води на окремі частинки магнію від розкладання піни не спостерігалось. Крім того піною (компресійною піною) підвищеної стійкості накрили вогнище класу А, горіння дерев'яних брусків, ящиків. Горіння було ліквідоване за допомогою розробленої насадки-заспокоювача на площі 2 м<sup>2</sup> за 40 с. Для гасіння використано установку комбінованого гасіння (рис. 4.7).

Окремо були проведені дослідження з подавання піни на комбіновану пожежу горіння магнію та ящикотари, моделювання горіння підпалювальної (немає такого) гранати та боєприпасів.



Рис. 4.7. Установка комбінованого гасіння перед проведенням полігонних випробувань

Окремо були проведені дослідження з подавання піни на комбіновану пожежу горіння магнію та ящикотари, моделювання горіння запалювальної гранати та боєприпасів. Вільне горіння становило 3 хв, маса умовної запалювальної гранати у вигляді ошурок магнію политих бензином А-92 – 1 кг. В місцях де піна потрапляла на магній вона прогорала, руйнувалась і утворювались прогари у вигляді вертикальних отворів коминів над зоною горіння. Вибухів не спостерігалось. Матеріали навколо підпаленого магнію припиняли горіти.

### **4.3. Рекомендації з гасіння пожеж легких металів та фосфорних сполук та їх структура**

Рекомендації з гасіння легких металів чи фосфорних сполук складені на основі проведених експериментів та досвіду гасіння реальних пожеж. Основною вогнегасною речовиною, яка використовувалась при гасінні жовтого фосфору на багатьох пожежах та на найбільшій пожежі в Європі, на ст. Ожидів Львівської області, була повітряно-механічна піна (ПМП). ПМП подавалась зі стволів ГПС і

СВП. Гасіння таким способом виявилось ефективним. Жовтий фосфор покривала піна, горіння припинялось, поки не було контакту фосфору з киснем повітря.



Рисунок 4.8 – Гасіння жовтого фосфору на залізничній станції Ожидів Львівської області (2007 рік).



Рисунок 4.9 – Проведення електрозварювальних робіт ушкодженої залізничної цистерни з жовтим фосфором з використанням піни середньої кратності

Тому на основі досвіду гасіння пожежі в Ожидові, пропонується для гасіння використовувати піну. Це дешево, технологічно і надійно.

Також застосування жовтого фосфору широко зустрічається у виробництві боєприпасів для військових цілей.

Дані рекомендації призначені для використання особовим складом пожежно-рятувальних підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту, який бере участь у гасінні комбінованих пожеж за наявності сполук фосфору, пожеж класу D (магнію та його сплавів) та легкозаймистих рідин на промислових та громадських об'єктах .

Найбільш резонансні пожежі в Україні та світі, що спричинені наявністю сплавів магнію підтверджують актуальність теми.

Пожежа магнію у місті Зоненберг (Німеччина) у 2010 році завдала збитків на мільйони євро. Горіло 30 тонн магнію. До локалізації і ліквідації пожежі приступили з запізненням – не було ефективних засобів первинного пожежогасіння.

2 жовтня 2015 року понад 20 пожежників гасили 47 тонн палаючого магнію на заводі PolMag в Республіці Польща. На першому етапі розплавлений магнієвий сплав намагалися загасити, але безуспішно. Використовували вогнегасний порошок, але вогонь настільки інтенсивний, що його неможливо було погасити. Не вистачало необхідних засобів подачі вогнегасних речовин.

30 березня 1988 року в Чикаго вибухнув причіп, який спричинив евакуацію 200 людей з двох різних заводів. Причіп був на 91% наповнений чистим магнієм. Температура горіння сягала 2030 °С, алюмінієво-сталевий причіп повністю розплавився. Пожежники на місці події не могли погасити вогонь адже не мали спеціальних вогнегасних порошоків, тому чекали коли вигорить весь магній. Для того, щоб пожежа не розповсюджувалася на будівлі та споруди поблизу горіння пожежники їх охолоджували.

В жовтні 2006 року у Львові виникла пожежа в контейнері для збору металевих відходів на території колишнього автобусного заводу. Причина пожежі – займання контейнера з магнієвими ошурками.

В квітні 2010 року на заводі «Київприлад», що на вулиці Гарматній 2, в Солом'янському районі столиці, стався потужний вибух магнію. Причина вибуху –

іскра від газозварювального апарата, яка потрапила в ємність з магнієм і спричинила вибух, унаслідок якого двоє чоловіків загинули на місці. Від високої температури поплавилися металеві конструкції підіймача, а від ударної хвилі повилітали шибки в цеху з першого по четвертий поверх.

Пропонуємо до «**Рекомендацій**» включити такі розділи:

- Загальна характеристика горіння сполук магнію та фосфору.
- Вогнегасні речовини та засоби їх подавання.
- Порядок гасіння комбінованих пожеж за наявності сполук фосфору та легких металів.
- Вимоги безпеки праці під час роботи з вогнегасними порошками.

Повний текст Рекомендацій з гасіння легких металів чи фосфорних сполук викладено у додатку Д.

#### **4.4. Висновки за розділом**

1. Полігонні випробування підтвердили ефективність ВПСІ КМ-3, розхід порошку становить 0,6 кг/с з використанням УППГ.

2. Підтверджено сумісність порошку КМ-3 з вогнегасною піною.

3. Проведено гасіння макетної пожежі: ошурки сплаву магнію 10 кг, бензин А-92 три літри, дизпаливо 5 літрів, мазут 3 л, ящикотара – 50 кг. Час вільного горіння – 3 хвилини, проміжок часу гасіння макетної пожежі – 40с.

4. Розроблено Рекомендації з гасіння легких металів чи фосфорних сполук та викладено їх у додатку Д.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У науково-дослідній роботі обґрунтовано технологію гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору та розроблено рекомендації з гасіння цих сполук.

За результатами науково-дослідної роботи зроблені такі висновки:

1. За результатами проведеного аналізу сучасного стану питання щодо розроблення і застосування вогнегасних речовин для гасіння пожеж за наявності легких металів чи фосфорних сполук, виявлено, що шляхами підвищення ефективності пожежогасіння легких металів чи фосфорних сполук в Україні є створення нових рецептур вогнегасних порошків спеціального призначення із застосуванням вітчизняної сировинної бази, а також удосконалення технічних засобів їх подавання, використання стійкої піни.

2. Розроблено рецептуру вогнегасного порошку КМ-3 для гасіння комбінованої пожежі D, B, A. Встановлено співвідношення складників вогнегасного порошку, яке забезпечує оптимальну величину інтенсивності подавання. Оптимальним є такий склад вогнегасного порошку: хлорид натрію – 60 %, мелений шлак – 20 %, амофос – 17,5 % та аеросил та стеарат цинку (стеарат кальцію) – 2,5 % .

3. Результати експериментального дослідження впливу основних параметрів процесу гасіння вогнегасним порошком магнію, та його сплавів, твердих горючих речовин та горючих рідин адекватно відображає дослідно-емпірична залежність, виведена на основі теорії планування багатофакторного експерименту. За її допомогою легко можна підібрати необхідний склад вогнегасного порошку для гасіння пожеж класів D, A, B.

4. Експериментально досліджено вплив товщини шару вогнегасного порошку КМ-3 на температуру горіння та охолодження магнію. Встановлено температурні показники у шарі вогнегасного порошку під час процесу гасіння ошурок сплаву магнію. Отримані дані можна використати для визначення коефіцієнта теплопровідності шару вогнегасного порошку та коефіцієнта теплообміну на границі між повітрям та порошком.



5. Для подавання D-порошків та компресійної піни підібрано та випробувано двосторонній заспокоювач. Заспокоювач з еліптичним верхом та додатковим еліптичним відбивачем ефективніший за попередні односторонні відбивачі у 4 рази.

6. Перевірено метод комбінованого гасіння пожеж класу А, В, D порошком КМ-3 та піною підвищеної стійкості. Площа горіння сплавів вкривається шаром ВП товщиною не менше 3 см, потім подається піна середньої або низької кратності на всю поверхню можливого горіння. Технологія гасіння була випробувана під час гасіння макетної пожежі з горінням магнію і ящикотари, политої бензином, дизпаливом і мазутом. Гасіння комбінованої пожежі було досягнуто на загальній площі 2 м<sup>2</sup> за 40 с. В місцях окремих прогарів ошурок сплавів магнію при нанесенні піни спостерігалось руйнування її без вибуху, а у місцях найбільшої кількості горючого магнію утворювались прогари у вигляді вертикальних коминів. Спалахів горючих речовин накритих піною, не спостерігалось. Найкращі результати показали стійкі піни, отримані з ПУ Барс S-2.

7. Розроблено рекомендації з гасіння легких металів чи фосфорних сполук. Сформульовано основні вимоги безпеки праці під час роботи з вогнегасними порошками та пінами/піною підвищеної стійкості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковалишин В. В., Марич В. М., Лозинський Р. Я., Пастухов П. В., Гусар Б. М. Комбіноване гасіння пожеж класу D та A, В. *Пожежна безпека*: зб. наук. праць. Львів, 2019. №35. С. 30–34. doi: 10.32447/20786662.35.2019.05;
2. Ковалишин В. В., Петровський В.Л., Веселівський Р.Б., Марич В. М. Ковалишин Вол.В., Великий Н.Р. Аналіз та проблеми гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи фосфорних сполук. *Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення*: матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (Львів, 1 жовтень 2019 р.). Львів: ЛДУБЖД, 2022. С. 303–305;
3. Ковалишин В. В., Марич В. М., Кирилів Я. Б. та ін. Дослідження хімічних речовин як складників вогнегасних порошків для гасіння легких металів. *Пожежна безпека*. 2016. № 29. С. 46–56.;
4. Баратова А. Н., Корольченко А. Я. «Пожаро-взрывопасность веществ и материалов и средства их тушения»: справочник : в 2-х т. Москва: Химия, 1990. Т. 1. 495 с.;
5. Magnesium-Brand richtet bei Sonneberg Millionenschaden an = Магнієвий вогонь спричиняє мільйони збитків у Зоннеберзі. URL: <https://www.thueringer-allgemeine.de/web/zgt/leben/blaulicht/detail/-/specific/Magnesium-Brand-richtet-bei-Sonneberg-Millionenschaden-an-1529078490>;
6. Способ предотвращения воспламенения металлических порошков. МПК 1690794, кл. А 62 D 1/00. Заявка: 1989.04.07. Опубл.: 1991.11.15. Авт. св. СССР № 1335299, кл. А 62 С 3/04, 1986;
7. Wilson C., Plugge M. and Zallen D. Evaluation of Existing: Phase 1. Agents Extinguishing Agent for Magnesium Fire / New Mexico Engineering and Research Institute Report prepared for Air Force Engineering and Services Center. Tyndall Air Force Base, 1983. P. 3–24;
8. Колосов Г. Г., Сергиенко К. А., Куценко Г. В. Способ получения универсального огнетушащего порошкового состава. *Крупные пожары*:

*предупреждение и тушение*: материалы XVI науч.-практ. конф. (Москва, 2001 г.): в 2-х ч. Москва: ВНИИПО, 2001. Ч. 2. С. 199–204;

9. Галикеев А. Р. Определение пожаровзрывоопасных показателей углеродсодержащих отложений при составлении рецептуры огнезащитных красок и создании огнетушащих порошков. *Нефтегазовое дело*: электр. науч. журнал. 2001. URL: [http://www.scholar.ru/catalog.php?page=1&topic\\_id=84](http://www.scholar.ru/catalog.php?page=1&topic_id=84);

10. Патент 871804 А62С 1/00 Способ определения огнетушащей способности порошковых составов / Лубяный, Умнягин, Шевцов, Товбин, Емельянов, Слободяник, Забуга, Галаджий, Даценко, Баратов, Вайсман. Заявка 2843374, 28.11.1979, Опубл.: 15.10.1981;

11. Габриэлян С. Г. Применение аргона для пожаротушения стружки сплавов магния и титана, образующейся при обработке на станках с числовым программным управлением и обрабатывающих центрах. *Пожарная безопасность*. 2017. № 4. С. 45–51;

12. Баланюк В. М., Ковалишин В. В., Козяр Н. М. Запобігання займання газових сумішей н-гептану комбінованими системами ударних хвиль та об'ємних вогнегасних речовин. *ScienceRise*. 2017. № 11 (40). С. 21–24;

13. Rakowska J., Radwan K., Ślosorz Z. Badania porównawcze wyników analizy granulometrycznej ziaren proszku gaśniczego przeprowadzonej różnymi metodami. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*. 2014. № 34 (2). P. 57–64;

14. Баланюк В. М., Козяр Н. М., Гарасим'юк О. І. Застосування газоаерозольно-порошкових вогнегасних сумішей для захисту від запалювальних сумішей. *ScienceRise*. 2016. Т. 5, № 2 (22). С. 10–14;

15. ГОСТ Р 53280.5-2009. № 55-ст. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Изд. Офиц. Москва: Стандартинформ, 2009. 11 с.;

16. Марич В. М., Ковалишин В. В., Мірус О. Л. та ін. Вплив насадок-заспокоювачів на ефективність гасіння пожеж класів D1. *Вісник ЛДУ БЖД*: зб. наук. праць. 2018. № 17. С. 93–101;

17. Антонов А. В., Стилик І. Г. Методи випробувань вогнегасних порошків з визначення їх вогнегасної здатності за класом пожежі Д. *Вісник УкрНДІПБ*. 2013. № 2 (28). С. 242–248;

18. CANNLC-S508-M90. Standard for the Rating and Fire Testing of Fire Extinguishers and Class D Extinguishing Media. Underwriters' Laboratories of Canada, 1996 Edition;

19. *Evaluierung neuer Löschverfahren bei Metallbränden*: Ständige Konferenz der Innenminister und senatoren der Länder / Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. Heyrothsberge, 2017;

20. Class D Magnesium fire. Powder Fire Extinguisher. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=sJ5TlaYPGs>;

21. Class D fires – Chubb Pyromet Extinguisher = Пожежі класу D – Chubb Pyromet вогнегасник. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=CTFxCr\\_Oy94](https://www.youtube.com/watch?v=CTFxCr_Oy94);

22. Potezny pozar fabryki polmag w olszowej plonie 47-ton-magnezu = Потужний вогонь заводу polmag в 47-тонному виході магнію. URL: <https://nto.pl/potezny-pozar-fabryki-polmag-w-olszowej-plonie-47-ton-magnezu/ar/8962865>;

23. Magnesium Brand richtet bei Sonneberg Millionenschaden = Магнієвий вогонь спричиняє мільйони збитків у Зоннеберзі. URL: <https://www.thueringer-allgemeine.de/web/zgt/leben/blaulicht/detail/-/specific/Magnesium-Brand-richtet-bei-Sonneberg-Millionenschaden-an-1529078490>;

24. Сайт газети «Україна молода». URL: <http://www.umoloda.kiev.ua/regions/0/0/28280/>;

25. 160 тон отрутохімікатів згоріло в результаті пожежі в Криму. URL: <http://tsn.ua/ukrayina/160-tonn-otrutohimikativ-zgorilo-v-rezultati-pozhezhi-v-krimu.html>;

26. Про затвердження голів Української частини спільних міжурядових комісій з питань співробітництва <http://www.newsru.ua/ukraine/28apr2010/mg.html>;

27. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту (УкрНДІЦЗ) Державної служби України з надзвичайних ситуацій: Державна установа. Київ, 2016. URL: <http://undicz.dsns.gov.ua>;

28. На ММК за выходные было два пожара! Огнеборцы тушили возгорание в ККЦ. URL: <http://www.telefakt.ru/news/lenta-novostejj/na-mmk-za-sutki-proizoshlo-dva-pozhara>;

29. Firefighter – training – extinguishing – magnesium – fires. *Firehouse*. URL:<https://www.firehouse.com/operations-training/hoselineswater-appliances/article/11300616/firefighter-training-extinguishing-magnesium-fires>;

30. Industriehalle brennt Grosseinsatz in Landshut = Промисловий зал горить масштабну операцію в Ландсхуті. URL: [https://www.pnp.de/nachrichten/bayern/2972437\\_Industriehalle-brennt-Grosseinsatz-in-Landshut.html](https://www.pnp.de/nachrichten/bayern/2972437_Industriehalle-brennt-Grosseinsatz-in-Landshut.html);

31. У Німеччині горів баварський завод bmw. Glavk.Info (10 юня 2018 р.). URL: <https://nv.ua/ukr/world/countries/u-nimechchini-horiv-bavarskij-zavod-bmw-2475328.html>;

32. В Мадриде из-за пожара химвеществ десятки тысяч людей заставили сидеть дома. Комментарии УА. 2016. URL: <https://comments.ua/world/593821-v-madrade-iz-za-pozhara-himveshchestv.html>;

33. Em qualifikation italien vs kroatien nach randale un ter brochenhttp. URL: <http://www.spiegel.de/sport/fussball/em-qualifikation-italien-vs-kroatien-nach-randale-unterbrochen-a-1003289.html>;

34. Schmalfuß H.: Magnesium erschwert Löscharbeiten an Pkw. *Feuerwehr-Magazi*. 2016. № 5. S. 8;

35. Schlüsslmayr Ch. Druckgießerei in Flammen – Feuerwehr kämpft vier Tage gegen Magnesiumbrand. *Blaulicht*. 2016. № 3. S. 4–8;

36. Buhlemann F. Magnesium-Brand richtet bei Sonneberg Millionenschaden an. *Thüringer Allgemeine*. 2010. 08.07;

37. Filzen M. Feuerwehr löscht Magnesium-Brand im Essener Hafen mit Sand. *Feuerwehr Essen*. Pressemitteilung (vom 20.10.2015);

38. Filzen M. Feuerehr-Essen: Feuer in Essener Hafentmühle, brennt gelagertes Aluminiumgranulat. *Feuerwehr Essen*. Pressemitteilung (vom 23.01.2016);

39. Розенбанд В., Гани А. Синтез порошка диборида магния в режиме теплового взрыва. *Физика горения и взрыва*. 2014. Т. 50. № 6. С. 34–39;

40. Арустамян О.М., Ткачишин В.С., Кондратюк В.Є., Алексійчук О.Ю., Думка І.В. Отруєння фосфором. Науковий огляд: Медицина надзвичайних станів. Том 16, № 4, 2020 р. С. 56-63. DOI: 10.22141/2224-0586.16.4.2020.207932;

41. Брауэр К. О. Пиротехнические устройства для космических аппаратов. *Вопросы ракетной техники*. 1969. Вып. 10. С. 47–61;

42. Шидловский А. А. Основы пиротехники: уч. пособие. Москва: Машиностроение, 1973. 320 с.;

43. Кириченко О. В., Цыбулин В. В., Ващенко В. А., Заика П. И. Пожароопасные свойства пиротехнических нитратных систем. *Комплексне використання сировини, енерго- та ресурсозберігаючі технології у виробництві неорганічних речовин: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., (Черкаси, 27-29 трав. 2004 р.)*. Черкаси, 2004. С. 73–74;

44. Вибухи на складах боєприпасів в Україні – історія катастроф. URL: <https://gordonua.com/ukr/publications/vibuhi-na-skladah-bojepripasiv-v-ukrajini-istorija-katastrof-179716.html>;

45. Стали відомі подробиці вибуху на складах боєприпасів на Запоріжжі. URL: [http://espreso.tv/news/2016/02/18/staly\\_vidomi\\_podrobyci\\_vybukhu\\_na\\_skladakh\\_bojepripasiv\\_na\\_zaporizhzhji](http://espreso.tv/news/2016/02/18/staly_vidomi_podrobyci_vybukhu_na_skladakh_bojepripasiv_na_zaporizhzhji);

46. Сон К. Е., Канг М. Ч., Ким К. Х. Исследования и разработки применения магниевых сплавов в Южной Корее. *Литейное производство*. 2006. № 1. С. 8–10;

47. Диринга Х., Майер П., Фехнер Д., Болен Я., Кайнер К. У. Настоящее и будущее магниевых сплавов в нашей цивилизации. *Литейное производство*. 2006. № 1. С. 4–7;

48. Уоббер Дж. Металлургия и металловедение плутония и его сплавов: монография. Москва: Госатомиздат, 1962. 102 с;

49. Rourke, D. J. Magnesium – current status and future prospects. *Conference in conjunction with METER 2000: Magnesium New Business Opportunities*: Proc. Intern. Brescia, 2000. P. 14–23;

50. Пат. 39357 Україна: МПК С22С 23/00. Ливарний сплав на основі магнію з підвищеною рідинотекучістю / Шаломеев В. А., Цивірко Е. І., Лукінов В. В.,

Лисенко Н. О. – заявитель и патентообладатель Запорож. нац. техн. ун-т; заявл. 28.08.08; опубл. 25.02.09, Бюл. № 4;

51. Пат. 39358 Украина: МПК С22С 23/00. Ливарний сплав на основ магнію / Шаломеев В. А., Цивірко Е. І., Лукінов В. В., Лисенко Н. О., Пархоменко А. В. – заявитель и патентообладатель Запорож. нац. техн. ун-т; заявл. 28.08.08; опубл. 25.02.09, Бюл. № 4;

52. Юм-Розери В., Рейнор Г. В. Структура металлов и сплавов: монография / пер. с англ.: М. М. Бородкина. Москва: Металлургиздат, 1959. 391 с;

53. Глосарій термінів з хімії / уклад. Й. Опейда, О. Швайка; Ін-т фізико-орган. хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький нац. ун-т. Донецьк: Вебер, 2008. 758 с.;

54. Тихонов В. Н. Аналитическая химия магния: монография. Москва: Наука, 1973. 254 с. Серия «Аналитическая химия элементов»;

55. Гороновский И. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф. Краткий справочник по химии. Киев: Наукова думка, 1987. 829 с;

56. Демидов П. Г. Горение и свойства горючих материалов: уч. пособие. Москва: ВИПТШ МВД, 1981. 190 с;

57. Корнилов И. И. Физико-химические основы жаропрочности сплавов: монография. Москва: АН СССР, 1961. 214 с.;

58. Даркен Л. С., Гурри Р. В. Физическая химия металлов: учебник. Москва: Металлургиздат, 1960. 245 с.;

59. Гшнейднер К. А. Сплавы редкоземельных металлов. Москва: Мир, 1965. 185 с.;

60. Довідник рятувальника на випадок виникнення надзвичайних ситуацій з небезпечними хімічними речовинами / Баланюк В. М., Винявська Г. Ф., Квашук В. П. та ін. Львів: Сполом, 2012. 712 с.;

61. NFPA 484, Standard for Combustible Metals. National Fire Protection Association, 2006. 158 p.;

62. Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2 кн. Москва: Химия, 1990. Кн. 1. 496 с.;

63. Способ тушения металлов. Пат. СРСР № 686598; опубл. 15.09.79, кл.А 62 D 1/00). Опубл.: 1998.09.27.;
64. ГОСТ. Р.12.3.047:98. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля: [Введен 2000-01-01]. Изд. офиц. Москва: Госстандарт РФ, 2000. 85 с.;
65. Сенчихін Ю. М., Сировий В. В. Довідник керівника гасіння пожежі. Київ, 2016. 320 с.;
66. Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативної-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж: Наказ МВС № 340 від 26.04.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/z0802-18>;
67. Kang H. et al. Effects of Quenching Rate on the Microstructures and Mechanical Properties of the Heat Treatable Mg-4.2Y-2.3Nd-1.0Gd-0.6Zr Magnesium Alloy. *Materials Science Forum*, 2015. Vol. 816. P. 356–361;
68. Tsapko Y., Guzii S., Remenets M., Kravchenko A., Tsapko O. Evaluation of effectiveness of wood fire protection upon exposure to flame of magnesium. *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4. № 10 (82). P. 31–36;
69. Магній. URL: <http://uareferat.com/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D0%B9>;
70. Баратов А. Н., Вогман Л. П. Огнетушащие порошковые составы. Москва: Стройиздат, 1982. 72 с.;
71. Сабинин О. Ю. Экспериментальное изучение влияния технологических свойств порошковых составов на их огнетушащую способность при импульсном способе пожаротушения. *Пожаровзрывобезопасность*. Москва, 2008. № 6. С. 64–74;
72. Nelson R. Extinguishing Agents and Application Techniques for Combustible Metal Fires: NFPA Handbook. Chapter 11–7, National Fire Protection Association, 2003;
73. Wilson C., Tapscott R., Zallen D. Reformulation and Origination of Extinguishing: Phase II. *Agents Extinguishing Agent for Magnesium Fire*. New Mexico



Engineering and Research Institute Report TA3-20 prepared for Air Force Engineering and Services Center. Tyndall Air Force Base, 1985. P. 25–46;

74. Evaluation of a New Liquid Fire-Extinguishing Agent for Combustible Metal Fires: federal aviation administration Report DOT/FAA/AR/TN06-26. Virginia: National Technical Information Service (NTIS), Springfield,, 2006. (November). 12 p;

75. Антонов А. В., Боровиков В. О., Орел В.П. та ін. Вогнегасні речовини: посібник. Київ: Пожінформтехніка, 2004. 176 с;

76. Антонов А. В. Теоретически и практические вопросы разработки огнетушащих веществ в Украине: *Крупные пожары: предупреждение и тушение*: материалы XVI науч.-практ. конф.: в 2-х ч. Москва: ВНИИПО МВД России, 2001. Ч. 2. С. 10–12;

77. НАОП 1.2.20-1.01-86. Правила безпеки при виробництві магнію. URL: [normativ.com.ua/types/tdoc7534.php](http://normativ.com.ua/types/tdoc7534.php);

78. Ковалишин В. В., Марич В. М. Проблеми гасіння магнію та його сплавів. *Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації*: метеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Львів, 20-21 жовтня 2016 р.). Львів: ЛДУ БЖД, 2016. С. 304–305;

79. Ковалишин В. В., Кріса І. Я., Васильєва О. Е., Кирилів Я. Б. Основи експлуатації вогнегасників: навч. посібник. Львів: Сполон, 2011. 304 с.;

80. Баратов А. Н., Вогман Л. П. Огнетушащие порошковые составы. Москва: Стройиздат, 1982. 72 с.;

81. Антонов А. В., Боровиков В. О., Орел В. П., Жартовський В. М., Ковалишин В. Вогнегасні речовини: посібник. Київ, 2004. 171 с.;

82. Методичний посібник з питань експлуатації та застосування вогнегасників. Київ: Основа, 1997. 149 с.;

83. Антонов А. В., Стилик І. Г. Методи випробувань вогнегасних порошків з визначення їх вогнегасної здатності за класом пожежі D. Науковий вісник УкрНДІПБ, Київ, 2013. № 2 (28). С. 242-248.

84. Ковалишин В.В., Марич В.М., Гусар Б.М. та ін. Обґрунтування методики випробувань вогнегасних порошків спеціального призначення. Пожежна безпека : зб. наук. пр. 2018. № 33. С.53-59. doi: 10.32447/20786662.33.2018.07.

85. Авторское свидетельство СССР "Способ тушения металлов", № 686598, опубл. 15.09.79, кл. А 62 D 1/00.
86. Ковалишин В. В., Кріса І. Я., Васильєва О. Е., Кирилів Я. Б. Основы эксплуатации вогнегасників: навч. посіб. Львів: СПОЛОМ, 2011. 304 с.
87. Налимов В. В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 207 с.
88. Ковалишин В.В., Марич В.М., Кирилів Я.Б. Дослідження хімічних речовин, як складників вогнегасних порошків для гасіння легких металів. *Пожежна безпека*. Львів, 2016. № 29. С. 46–56.
89. Налимов В. В., Голикова Т. И. Логические основания планирования эксперимента. М.: Изд-во МГУ, 1971. 72 с.
90. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. М.: Легкая индустрия, 1974. 262 с.
91. Душинский В. В., Пуховский Е. С., Радченко С. Г. Оптимизация технологических процессов в машиностроении. Київ: Техніка, 1977. 176 с.
92. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (справочное издание) / Бродский Р. З., и др. М.: Metallurgy, 1982. 752 с.
93. Бродский Р. З., Бродский Л. И., Голикова Т. И. и др. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей: справ. изд. Москва: Metallurgy, 1982. 752 с.;
94. Сабинин О. Ю., Агаларова С. М. Огнетушащие порошки. Проблемы. Состояние вопроса. *Пожаровзрывобезопасность*: сб. науч. трудов. Москва, 2007. Т. 16. № 6. С. 63–68;
95. Величко Л.Д. Термодинаміка та теплопередача в пожежній справі [Текст]: [навчальний посібник] / Величко Л.Д., Лозинський Р.Я., Семерак М.М.; ЛДУ БЖД. Львів: Вид-во «СПОЛОМ», 2011. – 504 с.
96. Ковалишин В. В, Марич В. М. Дослідження насадок-заспокоювачів для гасіння пожеж класу D. *Безпека життя і діяльність людини – освіта, наука, практика*: матеріали міжнар. наук.-метод. конф. (Рівне, 18–19 квітня 2019 р.). Рівне: НУВГП, 2019. С. 115–116;

97. Марич В. М., Ковалишин В. В., Кирилів Я. Б. та ін. Оптимізація складу вогнегасних порошків для гасіння пожеж класу Д 1. *Пожежна безпека*. 2018. № 32. С. 45–54;

98. Дударева Н. Ю., Загайко С. А. *SolidWorks 2007: практ. руководство*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2007. 1328 с.;

99. Баратов А. Н., Вогман Л.П. *Огнетушащие порошковые составы*. Москва: Стройиздат, 1982. 72 с.;

100. Алямовский А. А. *Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation*. Москва: ДМК Пресс, 2011. 464 с. (Серия «Проектирование»);

101. Kovalyshyn V. V., Marych V. M., Novitskyi Y. M., Gusar B. M., Chernetskiy V. V., Mirus O. L. Improvement of a discharge nozzle damping attachment to suppress fires of class D. *Efst-ern-European Journal of Enterprise Technogies*. 2018. Vol. 5. № 5 (95). P. 68–76;

102. Патент Заспокоювач для подавання вогнегасного порошку при гасінні пожеж класу D1 / Ковалишин В. В., Марич В. М., Ковалишин Вол. В., Мірус О. Л., Гусар Б. М. Заявка а 20180 03705, 06.04.2018;

103. Патент на винахід № 124876. Заявка а 2018 01936 26.02.2018, Опубл.: 09.12.2021 р. / Ковалишин В. В., Марич В. М., Ковалишин Вол. В., Гусар Б. М. Кирилів Я. Б. Вогнегасний порошок для гасіння легких металів, електроустановок під напругою за наявності магнію, алюмінію та їх сплавів ;

104. Патент на корисну модель № 145068. Заявка и 2019 11577 02.12.2019, Опубл.: 26.11.2020 р.. / Ковалишин В. В., Гусар Б. М., Марич В. М., Ковалишин Вол. В. Вогнегасний порошок спеціального призначення для комбінованого гасіння пожеж класу D, А, В;

105. Розроблення технічного засобу пожежогасіння компресійною піною та дослідження його характеристик : звіт про НДР (остаточний) / ІДУ НД ЦЗ ДСНС України; – Київ, 2020. – 405 с. – № ДР 0119U100618.

## **ДОДАТКИ**

## **ДОДАТОК А**

Заявка на НДР. Технічне завдання. Календарний план. Калькуляція вартості.

## ЗАЯВКА НА ВИКОНАННЯ НДР (ДКР)

1. Назва НДР (ДКР) Вдосконалення технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук «Комбіноване гасіння».
2. Повна та скорочена назва організації головного виконавця і його підпорядкованість Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (ЛДУ БЖД), ДСНС України.
3. Виконавці складових частин НДР (ДКР) ЛДУ БЖД.
4. Мета виконання НДР (ДКР): Наукове обґрунтування технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору. Дослідження особливостей впливу вогнегасних речовин та розробка їх оптимальних рецептур для гасіння пожеж класу А, В та легких металів та сполук фосфору.
5. Назва кінцевої науково-технічної продукції НДР (ДКР): Рекомендації з гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук.
6. Споживачі науково-технічної продукції та сфери її застосування: Пожежно-рятувальні підрозділи ДСНС, заклади вищої освіти ДСНС та добровільні пожежні формування України, пожежні підрозділи ЗСУ, Науково-дослідні установи ДСНС України.
7. Основні проблеми, що вирішує НДР (ДКР): Наукове обґрунтування технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору. Розроблення оптимальних рецептур вогнегасних речовин для припинення процесу горіння легких металів чи фосфорних сполук. Підвищення ефективності гасіння досліджуваних пожеж, мінімізація наслідків від пожеж. Підвищення безпеки праці працівників пожежно-рятувальних підрозділів під час гасіння комбінованих пожеж.
8. Обґрунтування можливості досягнення мети і завдань НДР (ДКР): Наявність висококваліфікованих кадрів для вирішення поставлених завдань, співпраця з науково-дослідними організаціями, виконання НДР з гасіння магнію, пожеж класу А, В, патенти на вогнегасні порошки для гасіння пожеж класу D.
9. Терміни виконання НДР (ДКР): 04.2022 – 04.2023  
(початок-закінчення)
10. Загальні працевитрати (люд.\*./міс.):  
– усього 13  
– у тому числі на перший рік 9

2

11. Виконання НДР (ДКР) планується за рахунок: Держбюджету та бюджету робочого часу.

12. Відомості щодо раніше проведених НДР (ДКР), їх аналогів або стадій (етапів) виконання:

Назва НДР (ДКР), її аналога або попередньої стадії (етапу) виконання	Терміни виконання (початок, закінчення)	Загальна вартість (тис. грн.)	Назва установи, організації, що фінансувала (замовляла) НДР чи її складову частину
Вдосконалення технології гасіння пожеж різних класів (Д1 та А) за наявності сполук магнію	04.2017 – 12.2018	17 лод./міс.	ЛДУ БЖД

13. Спосіб реалізації та назва підприємства або організації, де передбачається використання результатів досліджень: «Рекомендації з гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук» будуть використовуватись органами та підрозділами ДСНС України, та добровільними пожежними формуваннями, закладами вищої освіти і науково-дослідними установами ДСНС України, пожежними підрозділами міністерств та відомств. Виробництво вогнегасних речовин буде проводитись ТзОВ «Науково-виробниче товариство «Вогнеборець».

14. Заявник: Департамент реагування на надзвичайні ситуації Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

15. Інші установи, організації України та відомі науковці, що працюють у цьому напрямку: Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, ТзОВ «Науково-виробниче товариство «Вогнеборець».

16. Висновки заявника про соціально-економічну доцільність виконання НДР (ДКР):

Забезпечення захисту життя і здоров'я громадян, а також об'єктів економіки, незалежно від форм власності є головним завданням ДСНС України. Результати виконаної роботи не допустять розвиток масштабних пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук.

Ректор Львівського  
державного університету  
безпеки життєдіяльності



Мирослав КОВАЛЬ

2022 р.

Перший заступник Голови  
Державної служби України  
з надзвичайних ситуацій




Максим ГРИЦАЄНКО

2022 р.

М.П.

Державна служба України з надзвичайних ситуацій  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
(ЛДУ БЖД)  
79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35; тел./факс: (032) 233 24 79

ПОГОДЖЕНО  
Директор Департаменту реагування на  
надзвичайні ситуації ДСНС України

  
Володимир ДЕМЧУК  
(підпис)

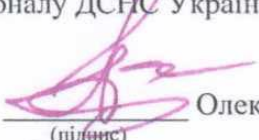
2022. . . . .

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Перший заступник Голови  
Державної служби України  
з надзвичайних ситуацій

  
Максим ГРИЦАЄНКО  
(підпис)

2022. . . . .

ПОГОДЖЕНО  
Директор Департаменту  
персоналу ДСНС України

  
Олександр ДОЦЕНКО  
(підпис)

2022. . . . .

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на науково-дослідну роботу за темою

**Вдосконалення технології гасіння комбінованих пожеж за наявності**

**легких металів чи фосфорних сполук**

**Шифр «Комбіноване гасіння»**

Державний реєстраційний номер НДР \_\_\_\_\_

ПОГОДЖЕНО  
Ректор ЛДУ БЖД





Мирослав КОВАЛЬ



## **1. Підстава для виконання роботи**

Робота виконується відповідно до пункту 3 розділу 2 «Тематичний план науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт» Плану наукової і науково-технічної діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності від 07.04.2022, затвердженого ректором Львівського державного університету безпеки життєдіяльності та погодженого з ДСНС, а також – цього технічного завдання.

Заявник – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.

Початок роботи: квітень 2022 року.

Закінчення роботи: квітень 2023 року.

Джерело фінансування – держбюджет та бюджет робочого часу.

## **2. Мета і призначення НДР**

Дослідити сучасні методи та технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору. Науково обґрунтувати та дослідити особливості впливу рецептур вогнегасних речовин на гасіння пожеж класу А, В та легких металів і сполук фосфору. Розробка методики гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору.

### Актуальність роботи

Враховуючи непоодинокі випадки пожеж за наявності легких металів які часто використовуються в апаратах космічної та авіаційної техніки, автомобілебудуванні, різних агрегатах і приладах та враховуючи їх пожежну небезпеку необхідно бути готовим до їх гасіння.

Горючим металом визначається метал, що складається з різних частинок або шматків, незалежно від форми, розміру або хімічного складу, який буде підтримувати самостійне горіння на повітрі після впливу джерела запалювання. Також підвищену пожежну небезпеку становить горючий металевий пил, що представляє собою металеві тверді частинки, які є небезпечними в окислювальному середовищі у діапазоні небезпечних концентрацій. Горіння металів, спричинене займанням горючого пилу, надзвичайно небезпечне через можливість вибуху. При горінні металів, температура може сягати понад 2000 °С, відповідно вода у такому випадку розкладається на водень та кисень і може утворюватися сильно

вибухонебезпечний газ кисень (вибухонебезпечні властивості киснегу), тому вода, не повинна використовуватися для гасіння. Орім того, вода, яка контактує з горючим металом, призведе до збільшення інтенсивності горіння. До відомих горючих металів та їх сплавів відносять: цезій, літій, калій, рубідій, натрій, натрій-калій, магній, алюміній, ніобій, титан, фосфід алюмінію, гідрид алюмінію і літій, літій амід та інші.

Горіння металів відповідно до Європейської класифікації пожеж відносять до класу D ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT), але звичайно, що враховуючи кількість і фізико-хімічні властивості горючих металів та їх сплавів не можна однозначно стверджувати, що для гасіння пожеж класу D можливе застосування уніфікованої вогнегасної речовини.

Реаліями сьогодення є застосування фосфорних бомб Російськими військами на території України, які є забороненими протоколами Женевської конвенції 1977 року. Відповідно, надзвичайно актуальною проблемою сьогодення є боротьба з пожежами пов'язаними з горінням сполук фосфору. Небезпечні чинники фосфорних боєприпасів при детонації розповсюджуються в радіусі до кількох сотень метрів. Температура горіння сполук фосфору сягає до 1000 °С. Уражаюча дія сполук фосфору є подібною до напалму. Через високу температуру горіння фосфор спричиняє тяжкі та болісні каліцтва, а при вдиханні парів може випалювати легені. Також здатний продовжувати горіти після вибуху.

Пожежі та вибухи, які виникають з причин загоряння металів та сполук фосфору, що наявні у боєприпасах, є актуальною проблемою, яку потрібно вирішувати, шляхом розроблення ефективних способів та засобів гасіння пожеж таких класів з врахуванням їх особливостей.

### **3. Вихідні дані для проведення НДР**

Науково-дослідна робота за темою «Вдосконалення технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи фосфорних сполук. Комбіноване гасіння» проводиться уперше. Для проведення НДР необхідно опрацювати і взяти до уваги такі нормативні документи та науково-технічну літературу:

1. ISO 7165:2017 «Fire fighting — Portable fire extinguishers — Performance

and construction».

2. ГОСТ 53280.5-2009 «Установки пожарогасіння автоматичні. Вогнегасні речовини. Частина 5. Порошки вогнегасні спеціального призначення. Класифікація, загальні технічні вимоги та методи випробувань»

3. Баратова А. Н., Корольченко А. Я. Пожаро-взрывопасность веществ и материалов и средства их тушения»: справочник : в 2-х т. Москва: Химия, 1990. Т. 1. 495 с.;

4. Антонов А. В., Стилик І. Г. Методи випробувань вогнегасних порошків з визначення їх вогнегасної здатності за класом пожежі Д. *Вісник УкрНДІПБ*. 2013. № 2 (28). С. 242–248;

5. Наказ МНС України від 07.05.2007 № 312 «Про затвердження Правил безпеки праці в органах та підрозділах МНС України»;

6. Довідник рятувальника на випадок виникнення надзвичайних ситуацій з небезпечними хімічними речовинами / Баланюк В. М., Винявська Г. Ф., Квашук В. П. та ін. Львів: Сполом, 2012. 712 с.;

7. Антонов А. В., Боровиков В. О., Орел В.П. та ін. Вогнегасні речовини: посібник. Київ: Пожінформтехніка, 2004. 176 с;

8. Ковалишин В. В., Марич В. М. Проблеми гасіння магнію та його сплавів. *Пожарна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Львів, 20-21 жовтня 2016 р.). Львів: ЛДУ БЖД, 2016. С. 304–305;

9. Марич В. М., Ковалишин В. В., Кирилів Я. Б. та ін. Оптимізація складу вогнегасних порошків для гасіння пожеж класу Д 1. *Пожарна безпека*. 2018. № 32. С. 45–54;

10. Ковалишин В. В., Марич В. М., Гусар Б. М. та ін. Обґрунтування методики випробувань вогнегасних порошків спеціального призначення. *Пожарна безпека*. 2018. № 33. С. 53–59.

11. Довідник керівника гасіння / [Коротинський П.А., Савинський С.П., Луц В.І. та ін.]; під ред. В.С. Кропивницького – К.: ТОВ «Літера-Друк», 2016, - 320 с.

#### **4. Виконавці НДР**

Роботу буде виконувати Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (далі – ЛДУ БЖД).

Безпосередніми виконавцями складових частин НДР будуть науково-педагогічні працівники кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, промислової безпеки та охорони праці ЛДУ БЖД.

#### **5. Вимоги до виконання НДР**

Робота буде виконуватися за допомогою аналітичних методів дослідження шляхом збору, узагальнення та аналізу нормативних документів та європейських методик гасіння пожеж за наявності легких металів чи фосфорних сполук. Теоретичні дослідження планується проводити із застосуванням статистичних методів обробки даних та інших аналітичних методів.

У науково-дослідній роботі планується розглянути такі питання:

- статичний аналіз пожеж в Україні та світі за 2011-2021 роки;
- аналіз відомих методів гасіння пожеж за наявності легких металів;
- аналіз українських та зарубіжних вогнегасних речовин призначених для гасіння легких металів;
- обґрунтування та дослідження особливостей впливу рецептур вогнегасних речовин на гасіння пожеж класу А, В та легких металів і сполук фосфору;
- дослідження чинників впливу, що будуть мати визначальне значення при гасіння пожеж класу А, В та легких металів і сполук фосфору;
- технологія гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору;
- правила безпеки праці під час гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору.

#### **6. Етапи НДР і терміни їх виконання**

Етапи НДР та їхній зміст наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Етапи НДР

Етап НДР	Зміст етапу
1. Вибір напрямку дослідження	<p>Інформаційно-аналітичний огляд вітчизняного та закордонного досвіду з особливостей технологій гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору. Аналіз застосування вогнегасних речовин, що здатні ефективно припиняти горіння легких металів та сполук фосфору. Обґрунтування вибору та актуальності тематики НДР.</p> <p>Проведення робіт з державної реєстрації НДР</p>
2. Теоретичні та експериментальні дослідження	<p>Аналіз сучасного стану розроблення і застосування вогнегасних речовин для гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору і виявлення шляхів підвищення ефективності пожежогасіння.</p> <p>Розроблення методики та проведення досліджень з виявлення впливу і співвідношень компонентів вогнегасних засобів для гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору на модельних вогнищах.</p> <p>На основі експериментальних досліджень обґрунтувати параметри та запропонувати технічні рішення для подачі вогнегасних речовин, що забезпечать ефективне припинення горіння легких металів та сполук фосфору.</p> <p>Провести дослідження з використання технології гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору в полігонних умовах, а також розробити проекти технічних умов на їх виготовлення та використання.</p> <p>Оцінювання імовірних небезпек та надання подальших рекомендацій із дотримання правил безпеки праці під час гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору відповідно до наказу МНС</p>

	України від 07.05.2007 № 312 «Про затвердження Правил безпеки праці в органах та підрозділах МНС»
3. Узагальнення і оцінювання результатів досліджень, оформлення звітної документації	Оцінювання повноти і якості вирішення поставлених завдань. Формулювання висновків за результатами проведених досліджень. Підготовка рекомендацій із гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору.
4. Приймання НДР	Підготовка комплексу звітної документації. Розгляд результатів НДР на НТР ЛДУ БЖД Розгляд результатів НДР на НТР ДСНС України. Подання роботи на затвердження. Підготовка облікової та інформаційної карток на НДР. Проведення робіт із державної реєстрації НДР

Календарний план виконання етапів науково-дослідної роботи і терміни їх виконання наведено в додатку 1.

### **7. Очікувані результати та порядок реалізації НДР**

Результатом виконання НДР будуть рекомендації із гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору, що будуть доведені до територіальних органів, навчальних закладів ДСНС. Розроблені рекомендації будуть використовуватись під час підготовки особового складу пожежно-рятувальних підрозділів до виконання завдань за призначенням.

### **8. Матеріали, які подають по завершенні усіх етапів НДР**

За результатами виконання роботи складається звіт про науково-дослідну роботу, який буде містити:

1. Аналіз сучасного стану розроблення і застосування вогнегасних речовин для гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору і виявлення шляхів підвищення ефективності пожежогасіння.

2. Методика для проведення досліджень з виявлення впливу і співвідношень компонентів вогнегасних засобів для гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору на модельних вогнищах.

3. Параметри та технічні рішення для подачі вогнегасних речовин, що забезпечать ефективне припинення горіння легких металів та сполук фосфору.

4. Проекти технічних умов на вогнегасні порошки та засоби їх подачі для гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору.

5. Рекомендації із гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору.

### **9. Порядок приймання НДР та її етапів**

Приймання роботи здійснюється відповідно до вимог ДСТУ 3973-2000 *Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт*. Після схвалення на Вченій раді ЛДУ БЖД звіт про виконання роботи затверджується ректором ЛДУ БЖД. До звіту додається рецензія з провідної установи за тематикою НДР. Після затвердження звіту він направляється замовнику для оформлення акту приймання роботи. Приймання НДР здійснює приймальна комісія. Матеріали для державного обліку виконаної роботи направляються в УкрІНТЕІ.

### **10. Вимоги до розробленої документації**

Заявка на виконання НДР, технічне завдання на НДР, повідомлення про готовність до приймання НДР та акт приймання НДР оформляються згідно з ДСТУ 3973-2000 *Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт. Загальні положення*.

Звіт про НДР оформляється відповідно до ДСТУ 3008:2015 *Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення на паперовому та електронному носіях*.

Реєстрація та облікові карти НДР оформлюються згідно з вимогами *Порядку державної реєстрації та обліку відкритих науково-дослідних, дослідно-*

конструкторських робіт і дисертацій, затвердженого наказом Міністерства освіти і науки України від 27.10.2008 № 977, зареєстрованим у Міністерстві юстиції України 6 квітня 2009 р. за № 312/16328.

Керівник НДР

Професор кафедри цивільного захисту та комп'ютерного моделювання екогеофізичних процесів  
д.т.н., професор



Василь КОВАЛИШИН

Відповідальний виконавець

Доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики  
к.т.н., доцент



Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ

Старший викладач кафедри промислової безпеки та охорони праці, к.т.н.



Володимир МАРИЧ

Виконавець

Викладач кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки, к.т.н.



Володимир КОВАЛИШИН

Завідувач науково-дослідної лабораторії екологічної безпеки



Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

Науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки, к.т.н.



Павло ПАСТУХОВ

Ад'юнкт кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій



Назарій ВЕЛИКИЙ

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 року



Додаток 1

## Календарний план виконання робіт за НДР

№ з/п	Найменування етапів, зміст робіт	Результати виконання робіт	Терміни виконання		Форма обговорення результатів робіт	Підрозділи, відповідальні за виконання	Виконавці робіт	Працевитрати, люд.-міс.	Примітка
			Початок	Закінчення					
1.	Розробка технічного завдання на НДР	Програма робіт	04.2022	05.2022	НТР	ЛДУ БЖД	В. В. Ковалишин Р. Б. Веселівський В. М. Марич Вол. В. Ковалишин Н. Р. Великий	0,4 0,4 0,4 0,4 0,4	
2.	Провести аналіз пожеж за наявності легких металів та сполук фосфору та інформаційно-аналітичний огляд вітчизняного та закордонного досвіду застосування вогнегасних речовин для їх гасіння.	Науково-технічна інформація	06.2022	07.2022	Звіт на кафедрі	ЛДУ БЖД	В. В. Ковалишин Р. Б. Веселівський В. М. Марич Вол. В. Ковалишин Н. Р. Великий	0,4 0,4 0,4 0,4 0,4	
3.	На основі аналізу існуючих методик розробити методику та провести дослідження з виявлення впливу і співвідношень компонентів вогнегасних засобів для гасіння пожеж легких металів та сполук	Технічна інформація	08.2022	10.2022	Звіт на кафедрі	ЛДУ БЖД	В. В. Ковалишин Р. Б. Веселівський В. М. Марич Вол. В. Ковалишин Н. Р. Великий	0,6 0,6 0,6 0,6 0,6	

	фосфору на модельних вогнищах.											
4.	Провести експериментальні дослідження з рецептури вогнегасних порошків та запропонувати технічні рішення для подачі вогнегасних речовин (порошок, піна), що забезпечать ефективне припинення горіння легких металів та сполук фосфору.	Технічна інформація	10.2022	11.2022	Звіт на кафедрі	ЛДУ БЖД	В. В. Ковалишин Р. Б. Веселівський В. М. Марич Вол. В. Ковалишин Н. Р. Великий В. Л. Петровський П. В. Пастухов	0,29 0,29 0,29 0,29 0,28 0,28 0,28				
5.	Провести дослідження з використання технології гасіння пожеж легких металів та сполук фосфору в полігонних умовах, а також розробити проекти технічних умов на виготовлення та використання насадок-заспокоювачів, вогнегасних порошків.	Технічна інформація	11.2022	01.2023	Звіт на кафедрі	ЛДУ БЖД	В. В. Ковалишин Р. Б. Веселівський В. М. Марич Вол. В. Ковалишин Н. Р. Великий В. Л. Петровський П. В. Пастухов	0,33 0,33 0,33 0,33 0,23 0,23 0,22				
6.	Розробити рекомендації із гасіння пожеж легких металів та сполук	Технічна інформація	01.2023	02.2023	Звіт на кафедрі	ЛДУ БЖД	В. В. Ковалишин Р. Б. Веселівський В. М. Марич Вол. В. Ковалишин	0,15 0,15 0,14 0,14				

	фосфору, для подальшого їх впровадження і використання у пожежно-рятувальних підрозділах та навчальних закладів системи ДСНС.								Н. Р. Великий В. Л. Петровський П. В. Пастухов	0,14 0,14 0,14	
7.	Підготовка звіту за темою.	Звіт за темою	03.2023	04.2023	НТР	ЛДУ БЖД			В. В. Ковалишин Р. Б. Веселівський В. М. Марич Вол. В. Ковалишин Н. Р. Великий	0,2 0,2 0,2 0,2 0,2	
									<b>Всього за НДР</b>	<b>13</b>	

**Примітка.** У разі необхідності терміни виконання етапів роботи та їх результати можуть змінюватися в установленому порядку.

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
(назва організації - виконавця НДДКР)

КАЛЬКУЛЯЦІЯ кошторисної вартості

НДДКР Вдосконалення технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук  
(назва)

«Комбіноване гасіння», номер державної реєстрації 0122U200807

(код і номер державної реєстрації)

Підстава для проведення роботи План наукової і науково-технічної діяльності ЛДУ БЖД на 2022 рік

Джерело фінансування держбюджет (КПКВК 1006360 „Підготовка кадрів, наукова і науково-технічна діяльність у сфері цивільного захисту і пожежної безпеки”)

Замовник Департамент реагування на надзвичайні ситуації ДСНС України

Термін виконання роботи початок 04.2022 закінчення 04.2023

№ з/п	Статті витрат	Усього на весь період (тис. грн)	Усього на поточний рік (тис. грн)	У тому числі за кварталами			
				I	II	III	IV
1.	Витрати на оплату праці	549,37	329,62		109,87	109,88	109,87
2.	Відрахування на соціальні заходи	120,86	72,52		24,17	24,17	24,18
3.	Матеріали	51	30,6		10,2	20,4	0
4.	Паливо та енергія для науково-виробничих цілей	10	6		2	2	2
5.	Витрати на службові відрядження	15	9			3	6
6.	Спецстаткування для наукових (експериментальних) робіт	35	21			21	
7.	Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації						
8.	Інші витрати	5	3		1	1	1
9.	Накладні витрати	87,5	52,5		17,5	17,5	17,5
	Усього	873,73	524,24		164,74	198,95	160,55
	Прибуток*						
	Кошторисна вартість	873,73	524,24		164,74	198,95	160,55

Ректор Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

Мирослав КОВАЛЬ

Начальник відділу економіки і фінансів

Іванна КІСІЛЬ

Професор кафедри цивільного захисту та комп'ютерного моделювання екогеофізичних процесів, керівник НДДКР

Василь КОВАЛИШИН

М.П

\* Планується для НДДКР, що проводяться за рахунок госпрозрахункових коштів.

**ДОДАТОК Б**

Технічні умови вогнегасного порошку спеціального призначення «КМ-3»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Заступник директора  
з науково-виробничої роботи  
ТзОВ «Науково-виробниче  
товариство «Вогнеборець»



Андрій ЛОЗИНСЬКИЙ

20 23 року

**ВОГНЕГАСНИЙ ПОРОШОК  
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ «КМ-3»  
SPECIAL DRY CHEMICAL POWDER «КМ-3»  
ТУ У 20.5-4003720005:2023**

**РОЗРОБЛЕНО**

Львівський державний університет  
безпеки життєдіяльності:  
д.т.н., професор Ковалишин В. В.,  
к.т.н., доцент Веселівський Р. Б.,  
к.т.н. Марич В. М.,  
к. т.н. Ковалишин Вол. В.

« 28 » 03 20 23 року

## СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.

Ці технічні умови поширюються на вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-3» (далі за текстом - вогнегасний порошок), який призначений для гасіння пожеж класу D, А, В та фосфорних сполук, при гасінні вогнегасниками та пожежними автомобілями.

Вогнегасний порошок використовується у вогнегасниках, установках пожежогасіння та пожежних автомобілях порошкового та комбінованого пожежогасіння в усіх кліматичних зонах за ГОСТ 15150 при температурі від мінус 50°C до 50°C.

Ці технічні умови обумовлюють вимоги до вогнегасного порошку, що поставляється для потреб народного господарства України та на експорт.

Приклад запису позначки при замовленні і в технічній документації:

“Порошок вогнегасний «КМ-3» ТУ У 20.5-4003720005:2023”.

Обов'язкові вимоги до якості вогнегасного порошку, які забезпечують його безпеку для життя, здоров'я та майна громадян, охорони довкілля, викладені у розділі 3 цих технічних умов.

Технічні умови треба перевіряти регулярно, не рідше одного разу на п'ять років, після надання їм чинності чи останнього перевіряння, якщо не виникає потреби перевіряти раніше у разі прийняття нормативно-правових актів відповідних національних (міждержавних) стандартів та інших нормативних документів, якими регламентовано інші вимоги, ніж ті, що встановлені у технічних умовах.

## 1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

**1.1.** Вогнегасний порошок повинен відповідати вимогам ISO 7165:2017 цих технічних умов, та виготовлятися за технологічним регламентом НВП «Вогнеборець», розробленим і затвердженим в установленому порядку, а для постачання на експорт – вимогам контракту.

### 1.1.1. Основні характеристики

Показники якості вогнегасного порошку повинні відповідати вимогам, що вказані в таблицях 1 і 2.

**Таблиця 1.** Показники якості вогнегасного порошку та їх значення

№з/п	Назва показників якості	Значення параметра
1	Насипна густина не ущільненого порошку кг/м <sup>3</sup> , не більше	920
2	Насипна густина ущільненого порошку кг/м <sup>3</sup> , не більше	1167,5
3	Утримання вологи, % не більше	0,5
4	Вогнегасна здатність, кг/м <sup>2</sup>	не більше 30
5	Стійкість до термічної дії	стійкий
6	Стійкість до вібрації	стійкий
7	Термін зберігання, років, не менше	5

**Таблиця 2.** Визначення фракцій маси порошку

Кількість порошку під час проведення дослідів, г	Розмір вічка, мм	Середнє значення маси порошку за фракціями, г	Середнє значення маси порошку за фракціями, %
1000	до 0,1	118,83	11,883
	0,1 – 0,071	374	37,4
	0,071 – 0,045	500,83	50,083
	менше 0,045	6,3	0,63



Як бачимо із опрацьованих результатів (рис. 2), кількість порошку фракції в межах 0,1 – 0,071 мм становить 50,083%. Такий відсоток порошку є необхідний для того, щоб при подаванні важкі частинки осідали на горючу поверхню та не розліталися.

Із опрацьованих результатів, встановлено що кількість порошку фракції в межах 0,1 – 0,071 мм становить 50,083%. Такий відсоток порошку є необхідний для того, щоб при подаванні важкі частинки осідали на горючу поверхню та не роздмухувалися.

Якщо порошок задовольняє вимоги таблиць 1 і 2, то він повинен забезпечувати гасіння пожеж класу D, А, В та фосфорних сполук.

## **1.2. Вимоги до сировини і матеріалів**

**1.2.1.** Якість сировини і матеріалів повинна відповідати стандартам або технічним умовам на їх виготовлення і бути підтверджена відповідними документами (сертифікат або паспорт якості) підприємств-постачальників, сертифікатами походження або сертифікатами відповідності, висновком Державної санітарно-епідеміологічної служби України.

## **1.3. Маркування**

**1.3.1.** На кожний мішок кріпиться етикетка, яка виготовляється за кресленням підприємства і містить такі дані, нанесенні методом друкування або іншим методом:

- найменування підприємства-виробника;
- найменування вогнегасного порошку;
- клас пожежі, для гасіння якого призначений вогнегасний порошок;
- позначення цих технічних умов;
- номер партії і дата виготовлення (число, місяць, рік);
- маса нетто, кг, з припуском на зважування (+/- 1кг.);
- гарантійний термін зберігання.

Допускається нанесення вищезазначених даних безпосередньо на пакувальну тару (кожен мішок) методом друкування, згідно з кліше підприємства.

У разі постачання вогнегасного порошку на експорт напис “Зроблено в Україні” на етикетці роблять англійською мовою або мовою країни-імпортера, яка вказана у контракті.

**1.3.2.** Маркування транспортної тари повинно відповідати ГОСТ 14192 та цим технічним умовам з нанесенням маніпуляційних знаків “Берегти від вологи”.

## **1.4. Пакування**

**1.4.1.** Пакувальна тара, яка використовується для фасування готової продукції, повинна відповідати вимогам відповідної нормативної документації.

**1.4.2.** Вогнегасний порошок пакують у поліетиленові мішки, які вкладають у чотири- або п’ятишарові мішки марок БМ чи ВМ ДСТУ 7796, або інші види упаковки які не впливають на зберігання та якість порошку.

Внутрішні (поліетиленові) мішки зав’язують з підгином, або фіксують за допомогою пластикового хомута, а зовнішні – прошивають машинним способом. Маса нетто ( $25 \pm 1$ ) кг.

За узгодженням зі споживачем вогнегасний порошок може бути упакований у інші види пакування, які не впливають на зберігання та якість вогнегасного порошку.

**1.4.3.** Пакування вогнегасного порошку для поставки на експорт повинно відповідати вимогам контракту.

**1.4.4.** Партія порошку повинна супроводжуватись паспортом, що містить такі дані:

- найменування підприємства-виробника;
- найменування вогнегасного порошку;
- клас пожежі, для гасіння якого призначений вогнегасний порошок;
- позначення цих технічних умов;
- номер партії і дата виготовлення (число, місяць, рік);
- загальна маса нетто партії, кг, з припуском на зважування ( $\pm 1\%$ .);
- гарантійний термін зберігання.

## **2. ПРАВИЛА ПРИЙМАННЯ**

### **2.1. Загальні вимоги**

**2.1.1.** Вхідний контроль сировини і матеріалів здійснюють відповідно до вимог ГОСТ 24297-87.

**2.1.2.** Для контролю якості й приймання вогнегасного порошку встановлюють такі категорії випробувань:

**2.1.2.1.** приймально-здавальні;

**2.1.2.2.** періодичні.

**2.1.3.** Для типової оцінки ефективності і доцільності внесення запропонованих змін до складу продукції, технології її виготовлення тощо проводять випробування за категорією типових випробувань.

**2.1.4.** Для сертифікаційних цілей продукції проводять сертифікаційні випробування відповідно до вимог.

**2.1.5.** Засоби вимірювань та контролю, які використовуються під час випробувань та контролю вогнегасного порошку, повинні бути повірені, а випробувальне обладнання – атестоване у встановленому порядку.

### **2.2. Приймання продукції**

**2.2.1.** Приймання вогнегасного порошку проводить лаборант підприємства-виробника.

**2.2.1.1.** Вогнегасний порошок приймають партіями.

Партією вважається кількість однорідної за своїми показниками продукції з однієї сировини, що виготовлена за однією й тією ж технологічною документацією, але не більше 25 тонн.

**2.2.2.** Партія вогнегасного порошку постачається споживачу разом із супроводжувальним документом, яким посвідчується його відповідність умовам і ДСТУ 3105 (ГОСТ 26952). Супровідний документ повинен містити:

- найменування підприємства-виробника і (або) його товарний знак (за його наявності);

- найменування вогнегасного порошку;

- номер партії вогнегасного порошку;
  - дату виготовлення (день, місяць, рік);
  - масу нетто ( кг);
  - позначення цих технічних умов;
  - результати приймально-здавальних випробувань вогнегасного порошку, які підтверджують відповідність його якості вимогам цих технічних умов згідно з табл. 1; 2.
- термін зберігання.

### **3. ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ**

**3.1.** Вогнегасний порошок транспортують будь-яким видом транспорту в критичних засобах за температури від мінус 50°C до 50°C згідно з “Єдиними правилами перевезення вантажів”.

**3.2.** Вогнегасний порошок у мішках транспортують у пакетах з використанням плоских піддонів типу 2П04-800x1200Д за ГОСТ 9078 вантажопідйомністю до однієї тонни. Закріплення пакета на піддоні у відповідності до вимог.

**3.3.** Під час транспортування та зберігання вогнегасного порошку повинні бути забезпечені відповідні умови для запобігання псуванню упаковки.

**3.4.** Вогнегасний порошок у споживача повинен зберігатися у зачинених сухих провітрюваних приміщеннях, захищених від атмосферних опадів, в умовах, що забезпечують цілісність упаковки, за температури від мінус 50°C до 50°C і відносній вологості – не більше ніж 85 %.

## **4. ВКАЗІВКИ ЩОДО ЕКСЛУАТАЦІЇ**

**4.1.** Вогнегасний порошок повинен завантажуватися у сухі та чисті корпуси вогнегасників та установок порошкового пожежогасіння.

**4.2.** Під час роботи з вогнегасним порошком необхідно користуватися засобами індивідуального захисту.

## **5. ГАРАНТІЇ ВИРОБНИКА**

**5.1.** Виробник гарантує відповідність показників якості вогнегасного порошку вимогам ДСТУ 3105 (ГОСТ 26952) і даних технічних умов за умови додержання споживачем умов транспортування, зберігання, експлуатації (застосування), що обумовлені цими технічними умовами.

**5.2.** Гарантійний термін зберігання в упаковці виробника – 5 років з моменту виготовлення.

**5.3.** По закінченні гарантійного терміну зберігання вогнегасний порошок підлягає регенерації або утилізації. Процес регенерації полягає у відновленні властивостей порошку. Для регенерації він відправляється на завод-виробник для відновлення його властивостей і характеристик. Порошок можна утилізувати в якості піскосумішей у зимовий період для посипання тротуарних доріжок.

## **6. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСУ D, A, B ТА ФОСФОРНИХ СПОЛУК**

**6.1.** Вимоги безпеки праці під час роботи з вогнегасними порошками

Вогнегасні порошки повинні бути нетоксичні, пожежо- і вибухобезпечні, клас небезпеки не вище 3 за ГОСТ 12.1.007-76, орієнтовний безпечний рівень дії (ОБРД) повинен становити не більше ніж  $5 \text{ мг/м}^3$ .

Вогнегасні порошки можуть спричинити незначне подразнення слизових оболонок, кон'юктиви, а їх інгаляційний вплив у концентраціях, що не перевищують безпечні, може призводити до розвитку хронічної інтоксикації та захворювань бронхолегеневої системи.

Організація технологічного процесу регенерації вогнегасних порошків та обладнання, що в ньому використовується, повинні відповідати вимогам чинних санітарних правил та норм.

Для запобігання пилоутворенню необхідно застосувати герметичну апаратуру, місцеву витяжну вентиляцію, систему аспірації, прибирання приміщень за допомогою вакууму.

Прибирання приміщень необхідно починати з сухого збирання вогнегасного порошку за допомогою пилососа. Після цього слід провести мокре прибирання.

Персонал, зайнятий роботами з порошками, повинен бути забезпечений індивідуальними засобами захисту відповідно до “Типових норм видачі спецодягу, спецвзуття і захисних пристосувань”. Слід використовувати респіратори згідно з ГОСТ 12.4.028-76, або інші засоби захисту органів дихання з негіршими характеристиками, захисні окуляри та спецодяг. Респіратори повинні бути укомплектовані постійним запасом тампонів. Для захисту рук від порошку доцільно застосувати силіконовий крем за ГОСТ 18-21-81 або інший аналогічний.

## **6.2. Загальні принципи гасіння пожеж вогнегасними порошками**

Значний ефект гасіння при застосуванні вогнегасних порошків досягається при подачі його в осередок пожежі в початковий момент гасіння, коли порошковою хмарою можна накрити весь фронт полум'я і майже миттєво його ліквідувати. Тому гасіння будь-якого вогнища доцільно починати найширшою частиною струменя. Оптимальний вогнегасний ефект досягається, коли порошкова хмара переміщається безпосередньо над поверхнею вогнища горіння.

При гасінні необхідно використовувати екрануючу здатність порошкової хмари, забезпечити захист ствольників від теплової радіації, що дає змогу наблизитися до вогнища горіння для більш ефективного маневрування стволом з метою охоплення всього вогнища порошковою хмарою.

Початкова частина порошкового струменя характеризується вузьким факелом і високою швидкістю. Тому початок гасіння ручним і лафетним стволами слід проводити з відстані 7 і 12 м відповідно.

Порошковий струмінь необхідно подавати на вогнище горіння як при підході до нього, так і при досягненні вищевказаних відстаней до нього і спрямовувати на ближній фронт горіння, після чого активно обробити порошком всю площу горіння.

При подаванні вогнегасного порошку на осередок пожежі необхідно враховувати напрям вітру. Сили і засоби необхідно розташовувати так, щоб можна було забезпечити подавання порошку з навітряного боку. Якщо такої можливості немає, порошкову струмінь подають з деякими поправками на вітер.

### **6.3. Заходи безпеки при роботі з магнієвими сплавами**

Для дотримання правил з охорони праці пропонуємо дотримуватись таких рекомендацій, які можна викладати у відповідних інструкціях та нормативних документах з ліквідації надзвичайних ситуацій, пов'язаних з магнієм.

Перед проведенням випробувань прилади повинні бути справними, без будь-яких механічних пошкоджень.

На місці проведення випробувань встановлюють необхідну вимірювальну апаратуру та розпалюють макетне вогнище, яке моделює пожежу. Для забезпечення безпеки в місці проведення випробувань повинні знаходитись:

- засоби для негайного гасіння вогнища;
- аптечка для надання першої медичної допомоги.

## **ДОДАТОК В. Протоколи випробувань**





**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ  
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ**

Свідоцтво про атестацію № РЛ 031/21 чинне до 27 травня 2025 р.  
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

**ПРОТОКОЛ № 01/39/230104**

**ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ НА МОДЕЛЬНОМУ  
ВОГНИЩІ ПОЖЕЖ КЛАСУ D**

*Львів 2023*

**ПРОТОКОЛ № 01/39/230114**  
**ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ НА МОДЕЛЬНОМУ**  
**ВОГНИЦІ ПОЖЕЖ КЛАСУ D**

**Дата проведення випробувань:** 14.02.2023 р.

**Умови проведення випробувань:**  
 - температура 8 °С  
 - атмосферний тиск 97,1 кПа  
 - відносна вологість 59 %  
 - швидкість вітру 2,1 м/с

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Науково-дослідна лабораторія пожежної безпеки ЛДУ БЖД.  
 Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

**ЗАМОВНИК ВИПРОБУВАНЬ:**

Державна служба з надзвичайних ситуацій України, м. Київ

**ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ:**

Порошок КМ-3 спеціального призначення для гасіння пожеж класу D, ТУ У 20.5-4003720-008:2023 Вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-3» виготовлений на замовлення ТзОВ «Вогнеборець», ISO 7165:2017 «Fire fighting – portable fire extinguishers». Методика з визначення ефективності гасіння вогнегасними порошками спеціального призначення.

**ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Порошок КМ-3 спеціального призначення для гасіння пожеж класу D. Технічні умови ТУ У 20.5-4003720-008:2023, вогнегасник ВП-6 споряджений порошком КМ-3.

**МЕТА ВИПРОБУВАНЬ:** визначення тривалості гасіння вогнегасним порошком КМ-3 модельного вогнища пожежі класу D.

**ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ:**

Вогнегасник ВП-6, модельне вогнище пожежі класу D.

**Засоби вимірювальної техніки**

Таблиця 1

№ п/п	Назва і тип ЗВТ	Межі вимірювань	Клас точності, ціна поділки
1	Деко	0,6×0,6×0,3 м (0,36 м <sup>2</sup> )	-
2	Секундомір СОП	від 0 до 3600 с	2 кл
3	Ваги ТВЕ 24-05	Від 0.5 до 24000.0 г	±500 мг
4	Ваги ТВЕ 150	Від 0.01 до 150.0 кг	±10000 мг
5	Анемометр НР-866В	0-30 м/с	±0,1 м/с

**МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ** (Методика з визначення ефективності гасіння

вогнегасними порошками спеціального призначення – затверджена Державним центром сертифікації ДСНС України від 30.01.2019 р.; ISO 7165:2015 «Fire fighting–portable fire extinguishers».)

Метод випробування вогнегасних порошоків спеціального призначення (ВПСП) передбачає використання вогнегасника з номінальним зарядом 13,6 кг порошку та використання спеціальної насадки-заспокоювача. Вогнегасники, що мають менший заряд, перевіряються використовуючи пропорційно зменшену кількість порошку та площу поверхні горіння.



Рис. 1. Горіння магнію в металевому деку

Випробування необхідно проводити в захисному одязі та спорядженні з відповідним рівнем захисту. Всі залишки після проведення випробування повинні бути утилізовані належним чином. Випробування проводять під відкритим небом, в огороженій місцевості для обмеження впливу вітру або у спеціально обладнаному приміщенні, де вентиляція забезпечує необхідну видимість та концентрацію кисню протягом проведення випробування.

Деякі засоби пожежогасіння, що використовуються для гасіння пожеж класу **D**, є токсичними та / або можуть взаємодіяти з металом, що горить, з отриманням матеріалів, які є токсичними або іншим чином небезпечними (наприклад, фосфати, які реагуючи з металами утворюють фосфіди металів, що розкладаються водою з одержанням фосфіну,  $\text{PH}_3$ , токсичного горючого газу).

Немає комплексних характеристик порошку, який міг би гасити всі пожежі класу **D**. Для гасіння конкретно взятого металу чи його сплаву розробляють спеціальні порошки цільового призначення, відповідно до цієї методики. Визначають оптимальну вагу порошку, необхідну для гасіння пожежі на певній площі, глибину та інші характеристики порошку при гасінні, заносять їх в таблицю, яка кріпиться на вогнегасник, та вказують в інструкції виробника.

Випробування проводяться на сталевій плиті квадратної форми, розмірами 1×1 м і товщиною 5 мм. Для зручного згортання спаленого металу використовують знімний металевий каркас розмірами (600×600×300 мм).

Щоб розпалити метал для підпалу ошурок використовують газовий або кисневий факел, який може запалити метал за 30 секунд.

Магнієвий сплав повинен містити  $8,5 \pm 1\%$  алюмінію і, максимум, 2,5 % цинку, а номінальний розмір частинок повинен становити від 10 мм до 25 мм, шириною від 6 мм до 13 мм та товщиною 0,05 мм.

Магній на основі реагенту повинен містити не менше 99,5 % магнію, а номінальний розмір часток повинен становити від 6 мм до 9 мм, шириною 3 мм та товщиною 0,25 мм.

Для випробувань без мастильно-охолоджувальної оливи використовують  $18,0 \pm 0,1$  кг металу для кожного досліду.

Процедура проведення випробування.

На сталевій плиті квадратної форми розміщують металевий чи дерев'яний каркас з відповідними розмірами. Металевий каркас повинен щільно прилягати до сталеві плити так, щоб не допустити витоку назовні продуктів горіння.

В середину металевого каркасу засипаємо відповідну кількість металу і рівномірно розподіляють по всій площі сталеві плити граблями або правилом з прямим краєм.

Після цього беремо бензин марки А-92, в кількості 0,127-0,150 л та рівномірно поливаємо поверхню металу, яку будемо розпалювати.

Далі беремо газовий факел, підносимо його до центра площі поверхні металу та тримаємо не довше 30 с.

Пожежа поширюється, доки не займе 25% об'єму металеві стружки, що горить, або 50% поверхні горіння, залежно від того, що станеться раніше. Після цього вогнегасник може бути розряджений по площі полум'я, за бажанням оператора, постійно чи періодично, відповідно до інструкцій виробника. Необхідно переконатись, що під час подавання порошку на поверхню горіння не розбризкується стружка магнію з дека.

Після того, як вогнегасник повністю розряджений, пожежа залишається у стані спокою протягом часу, рекомендованого виробником вогнегасника або протягом 60 хвилин, якщо відповідної рекомендації немає.

Для випробування КМ-3 використовуємо ВП-6. Розраховуємо відповідно кількість магнієвого сплаву до маси заряду ВП-6, засипаємо згідно розрахунку в квадратне деко 7,94 кг магнієвої стружки.

Після закінчення відведеного часу досліджуємо спалену суміш з порошком. Порошок вважається таким, що пройшов випробування, якщо після закінчення відведеного часу:

- пожежа повністю ліквідована;
- маса спаленої суміші є більша за 10 % від початкової маси металеві стружки до початку горіння.

### РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ:

Використовуємо ВП-6 для випробування КМ-3.

Результати випробувань

Таблиця 2

№ з/п	ВПСП	Кількість, кг	Горючий матеріал	Кількість МС, кг	Час гасіння, с
1	КМ-3	0,8	магнієвий сплав	7,94	25
2	КМ-3	0,8	магнієвий сплав	7,94	24

### ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ:

Вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-3» за ТУ У 20.5-4003720-008:2023 можна використовувати для гасіння пожеж класу **D**. Час гасіння модельного вогнища пожежі класу **D** складає 25 с.

Затверджую  
Завідувач  
науково-дослідної лабораторії



Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

Виконавці  
Доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, кандидат технічних наук, доцент

Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ

Старший викладач кафедри промислової безпеки та охорони праці, кандидат технічних наук

Володимир МАРИЧ

Науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки, кандидат технічних наук

Павло ПАСТУХОВ

Ад'юнкт кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Назарій ВЕЛИКИЙ



**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ  
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Свідоцтво про атестацію № РЛ 031/21 чинне до 27 травня 2025 р.  
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

**ПРОТОКОЛ № 02/39/230105  
ПРОВЕДЕННЯ ПОЛІГОННИХ ВИПРОБУВАНЬ КОМБІНОВАНИМ  
ГАСІННЯМ ПОЖЕЖ КЛАСІВ А, В і D**

*Львів 2023*

**ПРОТОКОЛ № 02/39/230105**  
**ПРОВЕДЕННЯ ПОЛІГОННИХ ВИПРОБУВАНЬ КОМБІНОВАНИМ**  
**ГАСІННЯМ ПОЖЕЖ КЛАСІВ А, В і D**

**Дата проведення**  
**випробувань:** 05.01.2023 р.

**Умови проведення випробувань:**  
 - температура 11 °С  
 - атмосферний тиск 97,2 кПа  
 - відносна вологість 65 %  
 - швидкість вітру 2,2 м/с

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Науково-дослідна лабораторія пожежної безпеки ЛДУ БЖД.

Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

**ЗАМОВНИК ВИПРОБУВАНЬ:**

Державна служба з надзвичайних ситуацій України, м. Київ

**ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ:**

Комбіноване гасіння пожеж класу А, В і D з використанням вогнегасного порошку КМ-3 спеціального призначення (ВПСП), технічні умови ТУ У 20.5-4003720-008:2023, та піноутворювача загального призначення для гасіння пожеж "Барс S-2", технічні умови ТУ У 20.4-4003720-001:2015 «Піноутворювачі для гасіння пожеж типу "БАРС"» виробництва ТзОВ "Науково-виробниче підприємство "Вогнеборець".

**ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Вогнегасний порошок спеціального призначення КМ-3(ТУ У 20.5-4003720-008:2023), споряджений у вогнегасник ВП-12; піноутворювач «Барс S-2» загального призначення (ТУ У 20.4-4003720-001:2015), розчин піноутворювача (6 %) споряджений у вогнегасник ВВП-12 для гасіння пожеж класу А, В і D.

**МЕТА ВИПРОБУВАНЬ:** Визначення тривалості гасіння макетної пожежі: ошурки сплаву магнію 10 кг, бензин А-92 - 3 л, дизпаливо – 5 л, мазут 3 л, деревина – 50 кг, комбінованим гасінням, підтвердити або спростувати ефективність ВПСП КМ-3 та сумісність з вогнегасною (компресійною) піною «Барс S-2».

**ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ:**

Вогнегасник ВП-12 споряджений порошком спеціального призначення КМ-3, вогнегасник ВВП-12 споряджений піноутворювачем «Барс S-2», нафтопродукти.

**Засоби вимірювальної техніки**

Таблиця 1

№ п/п	Назва і тип ЗВТ	Межі вимірювань	Клас точності, ціна поділки
1	Секундомір СОП	від 0 до 3600 с	2 кл
2	Ваги ТВЕ 24-05	Від 0.5 до 24000.0 г	±500 мг
3	Ваги ТВЕ 150	Від 0.01 до 150.0 кг	±10000 мг
4	Ваги ВТУ 210/ С3	Від 0 до 210 г	Клас точн. 3
5	Пірометр НР - 1300	Від мінус 50 °С до 1300 °С	±3 % ≥ 100 °С

6	Пірометр Смотрич 8	Від 1000 °С до 2000 °С	Клас точн. 4
7	Анеометр НР-866В	0-30 м/с	±0,1 м/с



**МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ** Гасіння макету комбінованої пожежі А, В і D ВПСП КМ-3 та компресійною піною.

Вимоги до оператора

Для проведення вогневих випробувань вогнегасників оператор повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту та одягнений у спеціальний одяг, який не плавиться, не займається і захищає оператора від теплового впливу макетного вогнища пожежі. Це може бути: бойовий одяг пожежника, захисна каска зі світловим фільтром і рукавиці з термостійкого матеріалу.

Готуємо макетну комбіновану пожежу горіння магнію, дерев'яних брусків та нафтопродуктів (бензину, ДП, мазуту) (рис. 1). Використовуємо 10 кг магнієво-алюмінієвих ошурок, 50 кг дерев'яних брусків.

Дерев'яні бруски викладаємо над деком  $0,4 \times 0,4$  м з бортом 0.05 м наповнене мазутом, доливаємо дизпаливо 5 л. Ошурки засипаємо в металеве деко розмірами  $0,6 \times 0,6$  м, висота насипання ошурок – 0,2 м. Ошурки розсипаємо шаром 0,02 м по поверхні макетної пожежі  $0,3 \times 0,5$  м впритул до дерев'яних брусків. Розпилюємо над ошурками 1 л води. Далі дерев'яні бруски і ошурки, обливаємо бензином А-92 в кількості 3 л.



Рис. 1. Макет комбінованої пожежі А, В і D перед проведенням полігонних випробувань

### ВИПРОБУВАННЯ.

Гасіння макету пожежі А, В і D комбінованим методом з використанням вогнегасного порошку спеціального призначення КМ-3 та компресійної піни проводиться експериментальною установкою з використанням ВВП-12, ВП-12 та балоном із стисненим повітрям (рис. 2).

Розпалюємо за допомогою факела магній. Даємо розгорітись магнію на  $2/3$  площі, в цей час починає горіти нафтопродукти і деревина. Вільне горіння відбувається 3 хвилини (рис. 3).

Спочатку подаємо ВПСП КМ-3 з вогнегасника ВП-12, а потім накриваємо піною підвищеної стійкості (компресійною піною) можливу площу горіння (рис. 4) з використанням насадки-заспокоювача (рис. 5). Пірометром вимірюємо температуру горіння з відстані 1,5 м, вона становить  $1500$  °С.

Гасіння проводимо з навітряної сторони. Подаємо ВПСП КМ-3 на ошурки магнію шаром приблизно 2,5 см і більше, щоб не було прогарів над ошурками. Подавання струменю проводимо з висоти 0,25-0,35 м, рухаємось від ближнього до дальнього борта дека.



Рис. 2. Експериментальна установка порошково-пінного гасіння (УППГ) з використанням ВВП-12, ВП-12 та балоном із стиснутим повітрям



Рис. 3. Комбінована пожежа магнію і деревини з нафтопродуктом

Переводимо струмінь частково на дерев'яні бруски, які горять на межі пожеж класу А, В і D. Пригашуємо горіння дерев'яних брусків, до закінчення порошку. Але тління дерев'яних брусків продовжується. Дерев'яні бруски які не накриті порошком, горять, горить і деко з мазутом та дизелем. Після цього подаємо компресійну піну з вогнегасника ВВП-12.



Рис. 4. Гасіння макетної пожежі магнію, нафтопродуктів та деревини комбінованим методом з використанням ВПСП та компресійної піни.



Рис. 5. Насадка заспокоювач для подачі порошків і компресійної піни.

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ:

Порошок накрив магнієві ошурки (вогнище пожежі класу **D**), на верхньому шарі утворилась кірка, шар порошку над сплавом магнію становить 3,1 см, розхід порошку – 0.6 кг/с. Піна, яка потрапила на цей шар, не зруйнувалась. Вибухів від потрапляння води на окремі частинки магнію від розкладання піни не спостерігалось. Крім того компресійною піною накрили вогнище пожежі класу **A і B** розхід 6 % розчину ПУ складає 0,1 л/с (горіння дерев'яних брусків і нафтопродуктів).

Горіння макетної пожежі було ліквідовано за допомогою насадки-заспокоювача на площі 2 м<sup>2</sup> за 40 с.

## ВИСНОВКИ

1. Полігонні випробування підтвердили ефективність вогнегасного порошку спеціального призначення КМ-3 при гасінні пожежі класу **D**, розхід порошку становить 0.6 кг/с, 6 % розчину ПУ складає 0,1 л/с з використанням установки порошково-пінного гасіння.

2. Підтверджено сумісність порошку КМ-3 з вогнегасною піною «Барс S-2».

3. Проведено гасіння макетної пожежі: ошурки сплаву магнію – 10 кг, бензин А-92 – 3 л, дизпаливо – 5 л, мазут – 3 л, дерев'яних брусків – 50 кг. Час вільного горіння 3 хв., проміжок часу гасіння макетної пожежі 40 с.

Завідувач  
науково-дослідної лабораторії



Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

Виконавці

Доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, кандидат технічних наук, доцент

Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ

Старший викладач кафедри промислової безпеки та охорони праці, кандидат технічних наук

Володимир МАРИЧ

Науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки, кандидат технічних наук

Павло ПАСТУХОВ

Ад'юнкт кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Назарій ВЕЛИКИЙ



**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ  
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ**

Свідоцтво про атестацію № РЛ 031/21 чинне до 27 травня 2025 р.  
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

**ПРОТОКОЛ № 15/39/221114**

**ПО ВИЗНАЧЕННЮ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ПОРОШКУ КМ-3  
ТА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ**

*Львів 2022*

**ПРОТОКОЛ № 15/39/221114**  
**ПО ВИЗНАЧЕННЮ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ПОРОШКУ КМ-3**  
**ТА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Дата проведення випробувань:** 14.11.2022 р.

**Умови проведення випробувань:**

- температура 19 °С  
 - атмосферний тиск 97,2 кПа  
 - відносна вологість 56 %

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Науково-дослідна лабораторія пожежної безпеки ЛДУ БЖД.

Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

**ЗАМОВНИК ВИПРОБУВАНЬ:**

Державна служба з надзвичайних ситуацій України, м. Київ

**ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ:**

Вогнегасний порошок (ВП) спеціального призначення КМ-3 на для гасіння пожеж класів **В, D**. ТУ У 20.5-4003720-008:2023 Вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-3».

**ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Вогнегасний порошок КМ-3 спеціального призначення для гасіння пожеж класу **D, В**.

**МЕТА ВИПРОБУВАНЬ:** визначення фракційного складу порошку та його характеристик.

**ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ:**

Таблиця 1

Засоби вимірювальної техніки

№ п/п	Назва і тип ЗВТ	Межі вимірювань	Клас точності, ціна поділки
1	Секундомір СОП	від 0 до 3600 с	Клас точн. 2
2	Ваги ТВЕ 24-05	Від 0,5 до 24000,0 г	±500 мг
3	Ваги ВТУ 210/ С3	Від 0 до 210 г	Клас точн. 3
4	Сита	0,1 мм	-
5		0,071 мм	-
6		0,045 мм	-
7	Ваги-вологомір ВТУС 120	0,001-120,000 г	Клас точн. 2
8	Анемометр НР-866В	0-30 м/с	±0,1 м/с

## ХАРАКТЕРИСТИКА ВОГНЕГАСНОГО ПОРОШКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ КМ-3

Вогнегасні порошки використовують для ліквідації горіння твердих, рідких та газоподібних речовин. Вогнегасний ефект застосування порошоків складається з хімічного гальмування реакції горіння, утворення на поверхні речовини, що горить, ізолювальної плівки, утворення хмари порошку, яка має властивості екрана, механічного збивання полум'я твердими частинками порошку та витискання кисню із зони горіння виділенням  $\text{CO}_2$ . Найчастіше порошки застосовують при горінні лужних та лужно-земельних металів та інших речовин (калію, магнію, натрію), які не можна гасити водою та водяними розчинами.

Завдяки добавкам, вогнегасні порошки мають добру текучість, стійкість проти злежування, грудкоутворення та зволоження і т.ін.

Вогнегасний порошок КМ-3 може бути використаний для гасіння пожеж легких металів чи фосфорних сполук.

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

Для досліджень використали склад порошку на основі хлориду натрію, меленого шлаку, амофосу, аеросилу та стеарату цинку.

Співвідношення компонентів рецептури вогнегасного порошку представлено в таблиці 2.

Рецептура вогнегасного порошку

Таблиця 2.

Компонент	%
Шлак	20,0
Натрій Хлор	60,0
Амофос	17,5
Аеросил	1,5
Стеарат цинку	1,0
Всього:	100,0

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ПОРОШКУ

За ТУ У 20.5-4003720-008:2023 Вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-3», ДСТУ ГОСТ ISO 2591-1:2004 Ситовий аналіз. Частина 1.

Методи з використанням контрольних сит з дротяної тканини і перфорованих металевих листів.

Для характеристики вогнегасного порошку КМ-3 було проведено дослідження з визначення фракцій маси порошку, результати досліджень наведені в таблиці 3.

Для дослідження фракційного складу порошку використовуються три лабораторні сита СЛМ-200 з розмірами вічка, рекомендованими для визначення фракцій порошку: 0,1; 0,071; 0,045 мм, кришку та днище, ваги лабораторні AXIS BTU-210 C3, TBE-24-05.

Експеримент в лабораторних умовах проводимо за такою методикою:

- готуються три наважки вогнегасного порошку КМ-3 масою по 1000 г;
- сита складають одне на одне за розміром вічка від меншого до більшого;
- одну із наважок вогнегасного порошку засипають у верхнє сито і закривають кришкою;
- проводимо пересіювання порошку та періодично через 2 хв. зважуємо кількість вогнегасного порошку на ситах, коли маса порошку не змінюється тоді результати заносимо в табл. 3, дослід проводимо три рази.

Таблиця 3

## Визначення фракцій маси порошку

№ з/п	Кількість порошку під час проведення дослідів, г	Розмір фракції, мм	Маса порошку за фракціями, г
1	2	3	4
1.	1000,0	більше 0,1	120,0
		0,1 – 0,071	382,5
		0,071 – 0,045	490,0
		менше 0,045	7,5
2.	1000,0	більше 0,1	123,5
		0,1 – 0,071	368,0
		0,071 – 0,045	502,5
		менше 0,045	6,0
3.	1000,0	більше 0,1	113,0
		0,1 – 0,071	371,5
		0,071 – 0,045	510,0
		менше 0,045	5,5

Після проведення дослідження опрацьовуємо результати та визначаємо середнє значення маси порошку в грамах та у відсотковому значенні (див. табл. 4).



інфрачервоному AXIS BTUS-120. Прилад забезпечує велику швидкість аналізу, плавну та однорідну сушку проб керамічним інфрачервоним нагрівальним елементом. Вологомір автоматично визначає завершення процесу сушки та розраховує вологовміст.

### Технологічні параметри вогнегасного порошку КМ-3

Таблиця 5

№ з/п	Назва показників якості	Значення параметра
1	Насипна густина не ущільненого порошку, кг/м <sup>3</sup> , не більше	920,00
2	Насипна густина ущільненого порошку, кг/м <sup>3</sup> , не більше	1167,50
3	Вологість, %, не більше	0,25

### Висновок.

1. Встановлено технічні (фізико-хімічні) показники вогнегасного порошку, зокрема:

- насипна густина не ущільненого порошку не більше 920,0 кг/м<sup>3</sup>;
- насипна густина ущільненого порошку не більше 1167,5 кг/м<sup>3</sup>;
- вологість не більше 0,25 %.

2. Експериментально встановлено кількісні показники дисперсності порошку ( див. табл. 6)

### Показники дисперсності порошку КМ-3

Таблиця 6

Кількість порошку під час проведення дослідів, г	Розмір фракції, мм	Середнє значення маси порошку за фракціями, %	Значення маси порошку за фракціями, %
1000,0	більше 0,1	11,9	11,9
	0,1 – 0,071	37,4	88,1
	0,071 – 0,045	50,1	
	менше 0,045	0,6	

Фракція з найбільшим відсотком – 50,1 % має дисперсність у межах 0,071 – 0,045 мм, що свідчить про хороші експлуатаційні характеристики.

Затверджую

Завідувач  
науково-дослідної лабораторії



Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

Виконавці

Доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики, кандидат технічних наук, доцент

Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ

Старший викладач кафедри промислової безпеки та охорони праці, кандидат технічних наук

Володимир МАРИЧ

Науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки, кандидат технічних наук

Павло ПАСТУХОВ

Ад'юнкт кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Назарій ВЕЛИКИЙ



**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ  
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ**

Свідоцтво про атестацію № РЛ 031/21 чинне до 27 травня 2025 р.  
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

**ПРОТОКОЛ № 16/39/221117  
ПРОВЕДЕННЯ ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ ВОГНЕГАСНОГО  
ПОРОШКУ КМ-3 НА МОДЕЛЬНОМУ  
ВОГНИЩІ 34В ПОЖЕЖІ КЛАСУ В ЗА ДСТУ 3675**

*Львів 2023*

**ПРОТОКОЛ № 16/39/221117**  
**ПРОВЕДЕННЯ ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ ВОГНЕГАСНОГО**  
**ПОРОШКУ КМ-3 НА МОДЕЛЬНОМУ**  
**ВОГНИЩІ 34В ПОЖЕЖІ КЛАСУ В ЗА ДСТУ 3675**

**Дата проведення**

**випробувань:** 17.11.2022 р.

**Умови проведення випробувань:**

- температура 18 °С  
 - атмосферний тиск 97,2 кПа  
 - відносна вологість 61 %  
 - швидкість вітру 1,2 м/с

**МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Науково-дослідна лабораторія пожежної безпеки ЛДУ БЖД.

Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

**ЗАМОВНИК ВИПРОБУВАНЬ:**

Державна служба з надзвичайних ситуацій України, м. Київ

**ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ:**

Порошок КМ-3 спеціального призначення для гасіння пожеж класу В, ТУ У 20.5-4003720-008:2023 Вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-3» виготовлений на замовлення ТзОВ «Вогнеборець».

**ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ:** Порошок КМ-3 – вогнегасний порошок спеціального призначення (ВПСП) для гасіння пожеж класу В споряджений у вогнегасник ВП-2.

**МЕТА ВИПРОБУВАНЬ:** визначення тривалості гасіння пожежі класу В модельного вогнища 34В ВПСП КМ-3 заряджений в ВП-2 (за ДСТУ 3675).

**ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ:**

Вогнегасник ВП-2, модельне вогнище пожежі класу 34В (бензин, деко 34В)

Засоби вимірювальної техніки

Таблиця 1

№ п/п	Назва і тип ЗВТ	Межі вимірювань	Клас точності, ціна поділки
1	Секундомір СОП	від 0 до 3600 с	2 кл.
2	Ваги ТВЕ 24-05	Від 0.5 до 24000.0 г	±500 мг
3	Пірометр НР-1300	від мінус 50 °С до 1300 °С	±2 % ≥ -50 °С до 100 °С, ±3 % ≥ 100 °С
4	Анемометр НР-866В	0-30 м/с	±0,1м/с

## МЕТОД ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАННЯ НА МОДЕЛЬНОМУ ВОГНИЩІ ПОЖЕЖІ КЛАСУ 34В ЗА ДСТУ 3675

*Суть методу.* Випробування проводять серіями. Серія включає три досліди (у кожному досліді проводиться гасіння одного модельного вогнища одним вогнегасником) Вогнегасна ефективність з гасіння пожеж класів **В** підтверджується гасінням двох із трьох вогнищ одного типорозміру. Серія вважається закінченою, коли проведено усі три досліди або у перших двох дослідіх отримано однаковий (позитивний або негативний) результат.



Рис. 1. Гасіння модельного вогнища 34В пожежі класу **В** вогнегасним порошком КМ-3 (ВП-2)

Тривалість гасіння модельних вогнищ пожежі не повинна перевищувати 2 хв. Також модельні вогнища за класом **В** вважаються погашеними, якщо полум'я ліквідовано і різниця між рівнями рідини (вода + пальне), виміряними в одному й тому самому місці до проведення випробувань та після них, не перевищує 25 мм. З метою зменшення можливої похибки, яка може виникнути від незворотних теплових деформацій, вимірювання рекомендується проводити поблизу стінки дека

Гасіння модельних вогнищ пожежі класу **В** допускається проводити на відкритому повітрі за відсутності атмосферних опадів і швидкості вітру, що не перевищує 3 м/с.

Модельне вогнище 34В пожежі класу **В** являє собою деку циліндричної форми, виконане з листової сталі. Розмір дека наведено в таблиці 2.

### Характеристики модельного вогнища 34В пожежі класу **В**

Таблиця 2

Позначення модельного вогнища пожежі	Об'єм рідини, л		Розміри дека для модельних вогнищ пожежі			
	вода	пальне	діаметр, мм	висота борта, мм	мінімальна товщина стінки, мм	площа горіння (наближена), м <sup>2</sup>
34В	11	23	1170 ± 10	150±5	2,0	1,07

Як пальне потрібно використовувати бензин марки А-92 згідно ДСТУ 7987:2015.

Перед проведенням випробувань потрібно:

- установити деко таким чином, щоб забезпечити легкий доступ до нього з усіх боків;
- налити в деко воду, рівень якої не менше 30 мм, і пальне у кількості, зазначеній у таблиці 2;
- установити вогнегасник на безпечній і зручній для роботи оператора відстані від вогнища пожежі.

Під час проведення випробувань підпалюють пальне у деку факелом завдовжки не менше 3 м. Тривалість вільного горіння повинна становити не менше 60 с.

Перед початком гасіння відкривають газовий балон або приводять у дію газогенерувальний елемент випробовуваного вогнегасника. Гасіння потрібно починати при повністю відкритому клапані запірно-пускового пристрою з відстані, що дорівнює мінімальній довжині струменя вогнегасної речовини. У процесі гасіння цю відстань дозволяється зменшувати. Випробовуючи порошковий вогнегасник, потрібно створити хмару вогнегасної речовини над поверхнею пального з поступовим переміщенням струменя вогнегасної речовини від ближнього борта дека до дальнього.

*Примітка.* Для отримання найкращих результатів гасіння оператор може:

- здійснювати подавання вогнегасної речовини на модельне вогнище пожежі як у безперервному, так і в переривчастому режимі;
- переміщуватися навколо модельного вогнища пожежі, але не ставати в деко.

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ:

Таблиця 2

№ з/п	ВПСП	Вогнегасник	Площа горіння, м <sup>2</sup>	Час гасіння, с
1	КМ-3	ВП-2	1,07	10
2	КМ-3	ВП-2	1,07	11

**ВИСНОВОК**

Вогнегасна ефективність з гасіння пожеж класів **В** підтверджується для вогнегасника ВП-2, за часом гасіння модельного вогнища пожежі 34В .

Затверджую

Завідувач  
науково-дослідної лабораторії



Виконавці

Старший викладач кафедри  
промислової  
безпеки та охорони праці,  
кандидат технічних наук

  
Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

Викладач кафедри експлуатації  
транспортних засобів та  
пожежно-рятувальної техніки,  
кандидат технічних наук


  
Володимир МАРИЧ

Науковий співробітник науково-  
дослідної лабораторії пожежної  
безпеки, кандидат технічних наук

  
Володимир КОВАЛИШИН

Ад'юнкт кафедри ліквідації наслідків  
надзвичайних ситуацій

  
Павло ПАСТУХОВ

  
Назарій ВЕЛИКИЙ

**ДОДАТОК Д**  
Акти впровадження



ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник управління

реагування на надзвичайні ситуації

ГУ ДСНС України у Львівській області

підполковник служби цивільного захисту

Ігор УЦАПІВСЬКИЙ

03 \_\_\_\_\_ 2023 року



## АКТ

**впровадження результатів по виконанню науково-дослідної роботи**  
за темою: «Вдосконалення технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи фосфорних сполук»

Комісія в складі:

**голови комісії:** начальника сектору підготовки та організації служби ГУ ДСНС України у Львівській області підполковника служби цивільного захисту Драгана Андрія Ігоровича;

**членів комісії:** заступника начальника відділу цивільного захисту Управління запобігання надзвичайним ситуаціям та цивільного захисту по Львівській міській територіальній громаді ГУ ДСНС України у Львівській області підполковника служби цивільного захисту Бурого Тараса Зіновійовича, головного фахівця відділу організації пожежогашіння та роботи з об'єктовими підрозділами ГУ ДСНС України у Львівській області підполковника служби цивільного захисту Якубовського Андрія Ігоровича склала цей акт та стверджує, що результати, отримані при виконанні Львівським державним університетом безпеки життєдіяльності науково-дослідної роботи за темою «Вдосконалення технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи фосфорних сполук» в якій розроблено рецептуру вогнегасних порошоків для гасіння пожеж за наявності легких металів чи сполук фосфору, вдосконалення насадки-заспокоювача для подачі вогнегасних речовин, шляхом математичного моделювання визначено її оптимальну конструкцію, проведені полігонні випробування за розробленою технологією гасіння, розроблено

установку спеціального призначення для гасіння пожеж класу «D» та рекомендації з гасіння легких металів чи фосфорних сполук для підрозділів ДСНС України. Запропоновані інженерно-технічні рішення пройшли апробацію у пожежно-рятувальних підрозділах Львівської міської територіальної громади ГУ ДСНС України у Львівській області

Голова комісії

 Драган А.І.

Члени комісії

 Бурій Т.З

 Якубовський А.І.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник навчальної  
пожежо-рятувальної частини

Львівського державного університету

безпеки життєдіяльності

Допомічник служби цивільного захисту



Роман ГОЛОВАЧЕВСЬКИЙ

«20» 03 2023р.

### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ результатів науково-дослідної роботи

Комісія у складі:

голови комісії – заступника начальника навчальної пожежо-рятувальної частини майора сл. ц. з. Мирослава СТРОНСЬКОГО; членів комісії: начальника караулу навчальної пожежо-рятувальної частини майора сл. ц. з. Івана ДАНИЛЬЧУКА та наукового співробітника науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки, кандидата технічних наук, майора сл. ц. з. Павла ПАСТУХОВА, склала цей акт та стверджує, що результати науково-дослідної роботи на тему: «Вдосконалення технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи фосфорних сполук» і запропоновані в ній інженерно-технічні рішення, зокрема сконструйована та виготовлена пересувна установка комбінованого гасіння порошком та піною, яка пройшла апробацію в навчальній пожежо-рятувальній частині і можливе використання під час гасіння пожеж класу А, В та D чи фосфорних сполук на площі до 5 м<sup>2</sup>.

Голова комісії

Мирослав СТРОНСЬКИЙ

Члени комісії

Іван ДАНИЛЬЧУК

Павло ПАСТУХОВ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи  
Львівського державного університету  
безпеки життєдіяльності  
к.т.н., доцент



Дмитро ЧАЛИЙ

«22» 03 2023 р.

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

### результатів науково-дослідної роботи

Комісія у складі:

голови комісії – заступника начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт к.т.н., доцента Василя ЛУЦА, членів комісії: завідувача кафедри промислової безпеки та охорони праці к.х.н., доцента Олександра МІРУСА та викладача кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій Ярослава ФЕДЮКА встановила, що науково-дослідна робота на тему: «Вдосконалення технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи фосфорних сполук» використовується у навчальному процесі при викладанні:


- на кафедрі пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт – дисциплін «Пожежна тактика» та «Тактика дій в надзвичайних ситуаціях»;
- на кафедрі ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій – дисципліни «Протипожежна та аварійно-рятувальна техніка»;
- на кафедрі промислової безпеки та охорони праці – дисципліни «Охорона праці в сфері цивільного захисту».

В лекційних курсах навчальних дисциплін використані теоретичні положення та методичні підходи науково-дослідної роботи щодо гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи фосфорних сполук, використання вогнегасного порошку спеціального призначення та компресійної піни і насадки-заспокоювача для їх подачі, а також запропоновані рекомендації з гасіння легких металів чи фосфорних сполук і вимоги безпеки праці під час роботи з вогнегасними порошками та пінами підвищеної стійкості.


Заступник начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт,  
к.т.н., доцент

 Василь ЛУЦ

Завідувач кафедри промислової безпеки та охорони праці,  
к.х.н., доцент

 Олександр МІРУС

Викладач кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

 Ярослав ФЕДЮК

## **ДОДАТОК Ж**

**Лист про надання рекомендацій з гасіння легких металів чи фосфорних сполук  
для ознайомлення та використання у практичній діяльності головним  
управлінням ДСНС України з надзвичайних ситуацій в м. Києві**



ДСНС України  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
(ЛДУ БЖД)

вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007, тел. (032) 233-32-40, факс (032) 233-00-88  
<https://ldubzh.edu.ua> Код ЄДРПОУ 08571340 E-mail: [ldubzh.lviv@dnb.gov.ua](mailto:ldubzh.lviv@dnb.gov.ua)

№ \_\_\_\_\_ На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Головним управлінням  
Державної служби України  
з надзвичайних ситуацій в  
областях та м. Києві

Про надання рекомендацій  
з гасіння легких металів чи  
фосфорних сполук

Львівським державним університетом безпеки життєдіяльності в рамках виконання НДР за темою «Вдосконалення технології гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів та фосфорних сполук», на замовлення Департаменту реагування на надзвичайні ситуації, розроблено рекомендації з гасіння легких металів чи фосфорних сполук, які надаємо Вам для ознайомлення та використання у практичній діяльності.

Додаток: Рекомендації з гасіння легких металів чи фосфорних сполук на 16 арк.  
в 1 прим.

Ректор

Мирослав КОВАЛЬ

Ярослав КИРИЛІВ  
(032) 233-24-79



СЕД АСКОД  
ЛДУ БЖД  
№ 90 01-976/90 19 від 10.05.2023  
Підписувач Коваль Мирослав Стефанович  
Сертифікат 58E2D9E7F900307804000000113428004EE79A00  
Дійсний з 29.10.2021 0:00:00 по 28.10.2023 23:59:59

**ДОДАТОК 3**  
**Рекомендації з гасіння легких металів**  
**чи фосфорних сполук**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
Державна служба України з надзвичайних ситуацій

**РЕКОМЕНДАЦІЇ З ГАСІННЯ ЛЕГКИХ МЕТАЛІВ  
ЧИ ФОСФОРНИХ СПОЛУК**

**Розглянуто на засіданні науково-технічної ради  
Львівського державного університету безпеки життєдіяльності  
22.03.2023 року протокол №2**

Львів-2023



Рекомендації з гасіння легких металів чи фосфорних сполук призначені для працівників державної служби України з надзвичайних ситуацій, добровільних пожежних формувань та пожежних підрозділів міністерств і відомств.

**Автори:** доктор технічних наук, професор Василь КОВАЛИШИН; кандидат технічних наук, доцент Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ; кандидат технічних наук Володимир МАРИЧ; кандидат технічних наук Володимир КОВАЛИШИН; кандидат технічних наук Павло ПАСТУХОВ; Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ; Назарій ВЕЛИКИЙ.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Властивості сполук магнію і фосфору та особливості їх горіння.....	7
1.1. Жовтий фосфор.....	7
1.2. Сполуки магнію.....	9
2. Вогнегасні речовини та засоби їх подавання.....	10
2.1. Вогнегасні речовини для гасіння жовтого фосфору.....	10
2.2. Вогнегасні речовини та засоби подавання для гасіння легких металів.....	11
3. Порядок гасіння комбінованих пожеж за наявності сполук фосфору та легких металів.....	12
3.1. Порядок гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів...	12
3.2. Гасіння фосфору.....	14
3.3. Правила безпеки праці.....	14
Література.....	15

## Вступ

Рекомендації з гасіння легких металів чи фосфорних сполук складені на основі проведених експериментів та досвіду гасіння реальних пожеж. Основною вогнегасною речовиною, яка використовувалась при гасінні жовтого фосфору на багатьох пожежах та найбільшій пожежі в Європі, на залізничній станції Ожидів Львівської області, була повітряно-механічна піна (ПМП). ПМП подавалась зі стволів ГПС і СВП. Гасіння таким способом виявилось ефективним. Жовтий фосфор покривала піна, горіння припинялось, поки не було контакту фосфору з киснем повітря.



Рисунок 1 – Гасіння жовтого фосфору на залізничній станції Ожидів Львівської області (2007 рік).



Рисунок 2 – Проведення електрозварювальних робіт ушкодженої залізничної цистерни з жовтим фосфором з використанням піни середньої кратності

Тому на основі досвіду гасіння пожежі в Ожидові, пропонується для гасіння використовувати піну. Це дешево, технологічно і надійно.

Також застосування жовтого фосфору широко зустрічається у виробництві боєприпасів для військових цілей.

Найбільш резонансні пожежі в Україні та світі, що спричинені наявністю сплавів магнію підтвердили актуальність теми.

Пожежа магнію у місті Зоненберг (Німеччина) у 2010 році завдала збитків на мільйони євро. Горіло 30 тонн магнію. До локалізації і ліквідації пожежі приступили з запізненням – не було ефективних засобів первинного пожежогасіння.

2 жовтня 2015 року понад 20 пожежників гасили 47 тонн палаючого магнію на заводі PolMag в Республіці Польща. На першому етапі розплавлений магнієвий сплав намагалися загасити, але безуспішно. Використовували вогнегасний

порошок, але вогонь настільки інтенсивний, що його неможливо було погасити. Не вистачало необхідних засобів подачі вогнегасних речовин.

30 березня 1988 року в Чикаго вибухнув причіп, який спричинив евакуацію 200 людей з двох різних заводів. Причіп був на 91 % наповнений чистим магнієм. Температура горіння сягала 2030 °С, алюмінієво-сталевий причіп повністю розплавився. Пожежники на місці події не могли погасити вогонь адже не мали спеціальних вогнегасних порошків, тому чекали коли вигорить весь магній. Для того, щоб пожежа не розповсюджувалася на будівлі та споруди поблизу горіння пожежники їх охолоджували. 10 червня 2018 року в німецькому місті Ландсхут в Баварії горів завод автоконцерну BMW. Згідно з повідомленням, горіли продукти з вмістом магнію. Через сильний дим населенню рекомендували закрити вікна та двері. Пожежа також вплинула на залізничний рух. Ділянка між Вьор-ан-дер-Ізаром і Ландсхутом була закрита близько години.

2 вересня 2017 року в Іспанії десятки тисяч жителів автономного співтовариства Мадрид отримали попередження не залишати свої будинки через поширення хмари токсичного диму. Причиною цього стало загоряння на виробничому складі, де горіло 40 тонн магнію і алюмінію, в муніципалітеті Фуенлабрада.

В жовтні 2006 року у Львові виникла пожежа в контейнері для збору металевих відходів на території колишнього автобусного заводу. Причина пожежі – займання контейнера з магнієвими ошурками.

В квітні 2010 року на заводі «Київприлад», що на вулиці Гарматній 2, в Солом'янському районі столиці, стався потужний вибух магнію. Причина вибуху – іскра від газозварювального апарата, яка потрапила в ємність з магнієм і спричинила вибух, унаслідок якого двоє чоловіків загинули на місці. Від високої температури поплавилися металеві конструкції підіймача, а від ударної хвилі повилітали шибки в цеху з першого по четвертий поверх.

Процес гасіння пожеж класу Д (за наявності сполук легких металів) та пожеж класу А, В є актуальним як в воєнний час, так і в мирний. Магній, алюміній та їх сплави використовують у військовій галузі при виготовленні запалювальних

гранат. Їх застосування зросло за останні роки на стадіонах, для світлошумових ефектів, на Сході нашої держави, де їх використовують для підпалу складів з боєприпасами, гасіння таких у пожеж ускладнюється через те, що магній розбризкується на великі площі або по всьому приміщенні тим самим, збільшуючи площу горіння, швидко займаються дерев'яні ящики з боєприпасами і ускладнюється процес гасіння. Дуже часто під час війни ворог використовує фосфорні запалювальні боєприпаси. Тому виникає необхідність у застосуванні ефективних методів та способів гасіння такого класу пожеж. Збитки від таких пожеж сягають млрд гривень. Пожеж одного класу D, як правило, не буває. Можуть виникати спочатку пожежі класу D а потім А, В або навпаки: пожежі ЛЗР чи твердих горючих матеріалів, а потім пожежі легких металів, які потребують комбінованих способів гасіння, при цьому треба враховувати високу температуру горіння магнію, підсилення горіння при гасінні водою, CO<sub>2</sub>, азотом. При подаванні вогнегасної речовини під високим тиском магній та його сплави розбризкуються та збільшують площу горіння.

## **1. Властивості сполук магнію і фосфору та особливості їх горіння**

### **1.1. Жовтий фосфор**

У вільному стані фосфор буває в кількох алотропічних модифікаціях. Найбільше значення мають так звані білий і червоний фосфор. Жовтий фосфор це не очищений білий фосфор.

Білий фосфор – безбарвна воскоподібна речовина з жовтуватим відтінком, через що його називають також жовтим фосфором. Утворюється при швидкому охолодженні пари фосфору. Його густина 1,82 г/см<sup>3</sup>. Температура плавлення 44,1°C, температура кипіння 280 °C. У воді практично не розчиняється, але добре розчиняється в сірковуглеці CS<sub>2</sub>.



Рисунок 3 – Білий фосфор з жовтим відтінком на зрізі під шаром води.

Білий фосфор надзвичайно отруйний – на шкірі залишає значні опіки. Доза його в 0,1 г – смертельна для людини. Працювати з ним слід дуже обережно.

На повітрі білий фосфор легко окиснюється. При цьому частина хімічної енергії перетворюється у світло. Тому білий фосфор у темряві світиться.

Білий фосфор – легкозаймиста речовина. Температура його займання 40 °С, а в дуже роздрібненому стані він самозаймається на повітрі навіть при звичайній температурі. Тому білий фосфор зберігають під водою.

Білий фосфор представляє собою напівпрозору тверду речовину, яка схожа на віск. Він здатний самозайматися, з'єднуючись з киснем повітря. Горить яскравим полум'ям з густим виділенням білого диму. Температура спалаху порошкоподібного фосфору +34 °С, температура полум'я – 900-1200 °С. Білий фосфор використовують як запал напалму і пірогелю в запальновальних боєприпасах.

Червоний фосфор – порошкоподібна речовина червоно-бурого кольору. Утворюється при тривалому нагріванні білого фосфору в герметично закритому посуді при температурі близько 250 °С. Червоний фосфор не отруйний і не розчиняється у сірковуглеці. Густина 2,20 г/см<sup>3</sup>. Запалюється червоний фосфор лише при температурі 240 °С. При нагріванні не плавиться, а переходить безпосередньо з твердого в газоподібний стан (сублімує). При охолодженні пари фосфору переходять у білий фосфор.

Чорний фосфор – за зовнішнім виглядом схожий на графіт, жирний на дотик, володіє напівпровідниковими властивостями, має шарувату будову. Утворюється

також з білого фосфору при тривалому нагріванні (200 °C) під великим тиском (1220 МПа).

Фосфор – це дуже вогнебезпечна, воскоподібна речовина від безбарвного до жовтого світлопроникного кольору із гострим запахом часнику. Форма, в якій вона використовується військовими, дуже активна і спалахує від контакту з киснем. Фосфор – самозапальний матеріал. Через це його зберігають під водою, у закупорених посудинах та за мінімального освітлення.

При попаданні на шкіру людини фосфор викликає важкі опіки, а після потрапляння фосфору всередину організму відбувається отруєння, що викликає мученицьку смерть. Смертельна доза для людини становить 0,05-0,15 г. Отруєння вражає кістки, кістковий мозок, викликає некроз щелепи. Фосфор застосовують у виготовленні мінеральних добрив, а також для так званих фосфорних бомб.

Пластифікований фосфор (з добавками каучуку) набуває здатності прилипати до вертикальних поверхонь і пропалювати їх. Це дає змогу використовувати його для спорядження бомб, мін, снарядів.

## **1.2. Сполуки магнію**

Магній – сріблясто-білий блискучий метал, порівняно м'який і пластичний, добре проводить тепло і електричний струм. Майже в 5 разів легший за мідь, в 4,5 раза легший ніж залізо; навіть алюміній в 1,5 раза важчий за магній. Плавиться магній при температурі 651 °C, але у звичайних умовах розплавити його досить важко. За температури 550 °C він займається і миттєво згорає з виділенням великої кількості тепла і світла. Смужку магнієвої фольги легко підпалити навіть джерелом запалювання низької потужності (звичайним сірником), а в атмосфері хлору магній самозагоряється навіть при кімнатній температурі. При горінні магнію виділяється велика кількість ультрафіолетових променів і тепла, наприклад, щоб нагріти 250 мл води від 0 до 100 °C, потрібно спалити всього 4 г магнію. Магній надходить в лабораторії у вигляді порошку або стрічок. Якщо підпалити магнієву стрічку, то вона швидко згорає з появою сліпучо білого світла з виділенням великої кількості тепла. Магнієві спалахи застосовували у



фотографії та під час виготовлення освітлювальних ракет. Температура кипіння магнію – 1107 °С, густина = 1,74 г / см<sup>3</sup>.

Хімічні властивості магнію досить своєрідні. Він легко забирає кисень і хлор у більшості елементів, на нього не діють їдкі луги, сода, гас, бензин і мінеральні масла. З холодною водою магній майже не взаємодіє, але киплячу воду розкладає з виділенням водню. У цьому відношенні він займає проміжне положення між берилієм, який взагалі з водою не реагує, і кальцієм, який легко з нею взаємодіє.

Оскільки продуктом цієї реакції є водень то стає очевидним, що гасіння палаючого магнію водою неприпустиме: може утворитися гримуча суміш водню з киснем, яка вибухає. Не можна загасити палаючий магній і вуглекислим газом: магній відновлює його.

Одним з найнебезпечніших сплавів є сплав магнію, який називається електрон. Електрон – сплав магнію (до 90 %), алюмінію (до 9 %) та інших елементів (1 %). Займається при температурі 600°С і горить сліпучим білим або голубуватим полум'ям, розвиваючи температуру до 2800 °С. Використовується для виготовлення корпусів авіаційних запалювальних бомб.

## **2. Вогнегасні речовини та засоби їх подавання**

### **2.1. Вогнегасні речовини для жовтого фосфору**

Звичайні протипожежні засоби, такі як вода та водні розчини, не можна використовувати для гасіння сполук фосфору, оскільки вони малоефективні. Фосфор має тенденцію до швидкого повторного спалаху кожного разу, коли він отримує доступ до повітря, наприклад, після випаровування чи стікання води, яка була використана для гасіння. Також вода буде підсилювати горіння магнію та його сплавів. Досвід гасіння жовтого фосфору в Ожидові показав, що фосфор найкраще гасити піною низької та середньої кратності та використовувати стволи СВП та ГПС. Шар піни наносять до досягнення надійного захисту фосфору від самозагорання. Ще краще було б подати компресійну піну, піну підвищеної стійкості. Можна використати при невеликих площах горіння фосфору пінні пересувні, стаціонарні установки пожежогасіння.

За відсутності вогнегасної піни спробувати ізолювати фосфор від повітря порошками та піскосумішами до прибуття пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС.

## **2.2. Вогнегасні речовини та засоби подавання для гасіння легких металів**

Для гасіння легких металів потрібно застосовувати відповідні вогнегасні речовини та засоби їх подавання. Під час гасіння легких металів необхідно подавати порошок при мінімальній швидкості руху його частинок на горючу поверхню так, щоб він покривав поверхню і не роздмухував вогонь. Багато науковців досліджували вогнегасні речовини для гасіння пожеж класу D. В усіх випадках дослідники дійшли висновку, що до складу спеціальних порошоків повинні входити NaCl, KCl. Наповнювачами виступають мелений пісок, шлак, зола, сполуки мелаїну, графіт, каолінова глина.

Для гасіння магнію та його сполук використовується вогнегасний порошок спеціального призначення для гасіння пожеж класу D. Вогнегасні порошки цього типу виготовляють на основі NaCl або KCl. В Україні розроблені порошки КМ-1, КМ-2, КМ-3. Цими порошками можуть споряджатися ємкості від 10 до 250 кг, які використовуються для порошкових вогнегасників, цистерни порошкових автомобілів. Розроблений вогнегасний порошок КМ-3 призначений для гасіння комбінованих пожеж за наявності сполук фосфору, пожеж класу D (магнію та його сплавів) та легкозаймистих рідин.

Вогнегасний порошок придатний до використання у вогнегасниках, установках пожежогасіння і пожежних автомобілях порошкового та комбінованого пожежогасіння в усіх кліматичних зонах при температурі від мінус 50 °С до 50 °С.

Обов'язковою умовою використання в якості насадки до порошкового вогнегасника або системи пожежогасіння наповненого ВПСП повинна бути насадка-заспокоювач.

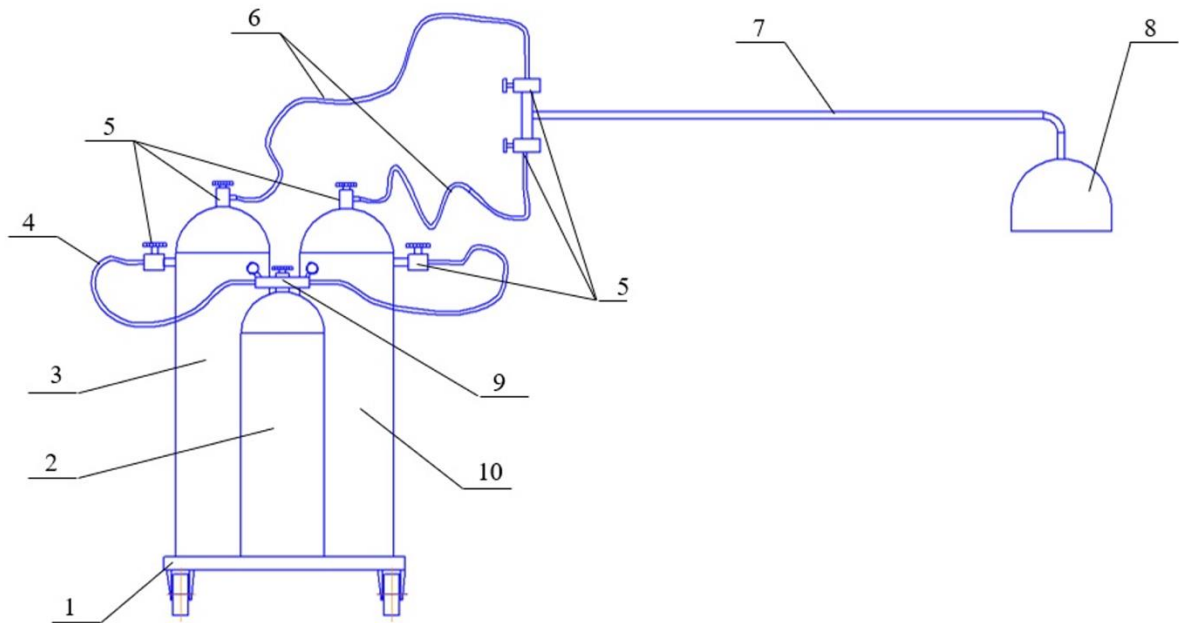


Рисунок 4 – Установка комбінованого гасіння: 1 – шасі установки; 2 – балон зі стиснутим повітрям; 3 – балон (12 л) з вогнегасним порошком КМ-3; 4 – шланг високого тиску для подачі стиснутого повітря; 5 – запірні шарові крани; 6 – шланги подачі вогнегасних речовин; 7 – штанга із заспокоювачем для транспортування вогнегасних речовин в осередок горіння; 8 – заспокоювач; 9 – редуктор для регулювання тиску повітря; 10 – балон (12 л) з розчином піноутворювача

### **3. Порядок гасіння комбінованих пожеж за наявності сполук фосфору та легких металів**

#### **3.1. Порядок гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів**

До об'єкта, де сталася пожежа, слід прибувати тільки з навітряної сторони по визначених під'їздах. У випадку неможливості під'їзду до об'єкта з навітряної сторони, особовому складу, який прибуває до місця виклику, необхідно одягнути ізолювальний захисний одяг та ізолювальні засоби захисту органів дихання. Установка складається із двох ємностей та балона, заповненого стиснутим повітрям, які встановлено на пересувному шасі. Ємність 1 – об'єм 12л, заповнена вогнегасним порошком спеціального призначення (ВПСП) КМ-3. Ємність 2 –

об'єм 12 л, (заповнена 6 % розчином піноутворювача спеціального призначення). Дана установка дає змогу швидко переходити від порошкового до пінного гасіння.

З установкою працюють дві людини. Гасіння пожеж із використанням установки УППГ проводиться таким чином. Розташовують установку на відстані 4-5 м від палаючого вогнища. Після чого один з операторів контролює процес подачі вогнегасних речовин з ємкості установки, а другий через насадку-заспокоювач подає вогнегасні речовини. З метою досягнення повного гасіння, а також продувки системи, вогнегасні речовини слід подавати до повного вивільнення вогнегасних балонів установки комбінованого гасіння. На вогнище, де горить магній або його сплави, або будь які легкі метали спочатку подають ВПСІ до повного гасіння, при наявності залишків порошку накривають інші горючі речовини ЛЗР, ГР або дерев'яні вироби. Гасіння пожеж класу В, А далі проводять піною. Оператор переключає заспокоювач на балон з пінним розчином та подає піну. Піну подають на всю поверхню конструкцій навколо магнію. Піна поганої якості, з великим вмістом води, подається на дерев'яні конструкції або зливається на бік. Для запобігання потрапляння води на ошурки магнію струмінь «мочної піни» категорично заборонено подавати на поверхню порошку. Це може підсилити горіння.

При гасінні осередку пожежі із застосуванням насадок-заспокоювачів відстань від нижньої поверхні насадки до вогню повинна бути 15-30 см, при цьому треба насадку переміщувати в горизонтальній площині з метою рівномірного накривання горючої поверхні порошком.

При гасіння пожеж фосфору та легких металів категорично заборонено використовувати в якості вогнегасних речовин воду. При гасінні пожеж класу А, В, D великої площі та значним фронтом горіння, рекомендовано застосовувати декілька установок УППГ.

При можливості накривання всієї площі горіння (наприклад запалювальна граната), корпусом заспокоювача накривають предмет гасіння запобігаючи розбризкуванню горючих крапель.

При горінні ЛЗР у деках, доцільніше з установки комбінованого гасіння одразу подавати піну через насадку-заспокоювач. Якщо горіння ЛЗР відбувається на землі, то можна також використати вогнегасний порошок, що подається через насадку-заспокоювач.

### **3.2. Гасіння фосфору**

Наносять шар піни до досягнення надійного захисту фосфору від самозагорання. При можливості, подати компресійну піну, піну підвищеної стійкості. При невеликих площах горіння фосфору використовувати пінні пересувні, стаціонарні установки пожежогасіння.

За відсутності вогнегасної піни спробувати ізолювати фосфор від повітря порошками та піскосумішами до прибуття пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС.

### **3.3. Правила безпеки праці**

Ізолювати небезпечну зону в радіусі не менше 100 м. Відкоригувати вказану відстань за результатами хімічної розвідки. Відвести сторонніх осіб. У небезпечну зону в разі горіння входити в захисних засобах. Дотримуватися заходів пожежної безпеки. Усунути джерела вогню, іскор та доступ води. Потерпілим надати першу допомогу, відправити людей з осередку ураження на медичне обстеження. Організувати евакуацію людей із сусідніх будівель з урахуванням напрямку руху токсичних продуктів горіння.

При пожежі легких металів не використовувати воду! Гасити тільки порошковими сполуками при цьому їх подавання здійснювати через насадку-заспокоювач. При гасінні пожеж цього типу використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання. Після накриття осередку горіння ВПСП, доцільно накрити всі горючі конструкції навколо, шаром піни середньої кратності або компресійною піною. Необхідно покривати палаючий метал суцільним шаром порошку товщиною не менше 15 мм та з врахуванням шару горючих ошурок легкого металу, чим більший шар ошурок горючого металу тим більший шар

порошку, який може сягати 10 см і більше (приблизно, на 25 мм шару ошурок 10 мм шару порошку).

Засоби для гасіння: ВПСП, сухий пісок, шлак, цемент, флюси, хлориди калію або натрію. Для гасіння невеликих пожеж придатний польовий шпат, карбонат натрію, бура, інфузорна земля, борна кислота.

Фосфор гасити піною або вогнегасним порошком. За наявності сполук фосфору в металевій посудині – заповнити її водою вище рівня фосфору.

Для утилізації розсипані ошурки сплавів легких металів зібрати без застосування вологи в суху металеву ємність; герметично закрити і відправити на переробку з дотриманням заходів безпеки.

В разі утилізації жовтого фосфору зібрати його в металеву ємність та заповнити її водою вище рівня фосфору.

### Література

1. Ковалишин В. В., Марич В. М., Лозинський Р. Я., Пастухов П. В., Гусар Б. М. Комбіноване гасіння пожеж класу D та A, B. *Пожезна безпека*: зб. наук. праць. Львів, 2019. №35. С. 30–34. doi: 10.32447/20786662.35.2019.05;

2. Ковалишин В. В., Петровський В.Л., Веселівський Р. Б., Марич В. М. Ковалишин Вол. В., Великий Н.Р. Аналіз та проблеми гасіння комбінованих пожеж за наявності легких металів чи фосфорних сполук. *Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення*: матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (Львів, 1 жовтень 2019 р.). Львів: ЛДУБЖД, 2022. С. 303–305;

3. Марич В. М., Ковалишин В. В., Мірус О. Л. та ін. Вплив насадок-заспокоювачів на ефективність гасіння пожеж класів D1. *Вісник ЛДУ БЖД*: зб. наук. праць. 2018. № 17. С. 93–101;

4. Марич В. М., Ковалишин В. В., Кирилів Я. Б. та ін. Оптимізація складу вогнегасних порошків для гасіння пожеж класу D 1. *Пожезна безпека*. 2018. № 32. С. 45–54;

5. Kovalyshyn V. V., Marych V. M., Novitskyi Y. M., Gusar B. M., Chernetskiy V. V., Mirus O. L. Improvement of a discharge nozzle damping attachment to suppress fires of class D. *Efst-ern-European Journal of Enterprise Technogies*. 2018. Vol. 5. № 5 (95). P. 68–76;

6. Патент Заспокоювач для подавання вогнегасного порошку при гасінні пожеж класу D1 / Ковалишин В. В., Марич В. М., Ковалишин Вол. В., Мірус О. Л., Гусар Б. М. Заявка а 20180 03705, 06.04.2018;

7. Патент на винахід № 124876. Заявка а 2018 01936 26.02.2018, Опубл.: 09.12.2021 р. / Ковалишин В. В., Марич В. М., Ковалишин Вол. В., Гусар Б. М. Кирилів Я. Б. Вогнегасний порошок для гасіння легких металів, електроустановок під напругою за наявності магнію, алюмінію та їх сплавів;

8. Патент на корисну модель № 145068. Заявка и 2019 11577 02.12.2019, Опубл.: 26.11.2020 р.. / Ковалишин В. В., Гусар Б. М., Марич В. М., Ковалишин Вол. В. Вогнегасний порошок спеціального призначення для комбінованого гасіння пожеж класу D, А, В.