

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

МАРИЧ ВОЛОДИМИР МИХАЙЛОВИЧ



УДК 614.841.12:539.377

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОРОШКОВОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ
МАГНІЮ ТА ЙОГО СПЛАВІВ**

21.06.02 – пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2019

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Ковалишин Василь Васильович
Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності, завідувач кафедри
ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий
співробітник
Антонов Анатолій Васильович
Державна екологічна академія післядипломної
освіти та управління,
професор кафедри екологічного аудиту та
експертизи

кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник
Дунюшкін Володимир Олександрович
Науково-виробниче об'єднання «Фактор»,
начальник відділу автоматизованих систем
пожежогасіння

Захист відбудеться «31» травня 2019 року об 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.874.01 у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Львівського державного університету безпеки життєдіяльності за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35

Автореферат розісланий «27» квітня 2019 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., доцент



В. М. Баланюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Використання магнію та його сплавів є практичним та ефективним у промисловості як в Україні, так і за її межами. Магній та його сплави часто використовуються в апаратах космічної та авіаційної техніки, автомобілебудуванні, різних агрегатах і відповідних приладах.

Згідно із статистичними даними, за останніх 10 років в Україні сталося близько 25 пожеж, що були спричинені горінням магнію та його сплавів. У квітні 2010 року на заводі "Київприлад", що на вулиці Гарматній, 2, в Солом'янському районі столиці, стався потужний вибух внаслідок гасіння стружки магнію, при цьому двоє чоловіків загинули на місці події. Від високої температури розплавилась металеві конструкції підйомача, а від вибухової хвилі – повилітали шибки в цеху з першого по четвертий поверх. Гасіння пожеж класу D за наявності магнію та його сплавів є проблемою і в зарубіжних країнах, зокрема 2 жовтня 2015 року понад 20 пожежників гасили 47 тонн палаючого магнію на заводі PolMag в республіці Польща. На першому етапі розплавлений метал, намагались загасити вогнегасним порошком, але вогонь був настільки інтенсивний, що його неможливо було загасити наявними технічними засобами пожежогасіння. У 2010 році у місті Зоненберг (Німеччина) пожежа з горінням 30 тонн магнію внаслідок відсутності ефективних засобів первинного пожежогасіння, до локалізації і ліквідації цієї пожежі приступили із запізненням, при цьому пожежа спричинила збитків на мільйони євро.

Небезпечними є також пожежі та вибухи на футбольних стадіонах. Один із випадків стався під час Європейського чемпіонату 2016 році під час гри Італії та Хорватії. У ході гри між уболівальниками розпочалися сутички з використанням запальних пристроїв з наявністю стружки магнію. Як наслідок виникла пожежа з великою кількістю потерпілих.

Крім того, магній та його сплави часто використовують у військовій справі при виготовленні запальновальних гранат, які застосовують, зокрема, для підпалу складів з боєприпасами, що ускладнює гасіння пожежі через те, що магній розбризкується на великі площі або по всьому приміщенні. Масштабні пожежі з вибухами на складах боєприпасів у м. Сватове (Луганська область) в 2015р. пов'язані з використанням для підпалу саме таких гранат.

Під час гасіння пожеж класу D виникають додаткові фактори небезпеки, які можуть ускладнювати процес гасіння. Як відомо магній та його сплави активно реагують з водою із виділенням водню що призводить до ще більшого розповсюдження пожежі, або вибуху. Традиційні вогнегасні речовини (вода, піна, газові вогнегасні речовини) не придатні для гасіння магнію та його сплавів, такі пожежі класу D ліквідовують вогнегасними порошками спеціального призначення. Характерною особливістю таких вогнегасних порошоків є різниця в показниках якості від вогнегасних порошоків загального призначення, насамперед за хімічним складом, насипною густиною та дисперсністю, що потребує застосування спеціальних технічних засобів подавання їх на поверхню горіння магнію або його сплавів для локалізації та гасіння пожеж такого класу.

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. та інших.

В Україні досліджень щодо розроблення вогнегасних порошків спеціального призначення та технічних засобів їх подавання для гасіння пожеж класу D наразі проводиться недостатньо. Такі вогнегасні речовини та вогнегасники як засоби гасіння зазначених пожеж на початковій стадії їх виникнення вітчизняними виробниками не виробляються, а їх відсутність на вітчизняному ринку продукції протипожежного призначення зумовила актуальність дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконувалась відповідно до плану науково-дослідної роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, за напрямком «Розроблення, дослідження, випробування та впровадження систем виявлення та гасіння пожеж, вогнегасних речовин, методів та пристроїв їх подачі» під час виконання науково-дослідної роботи за темою «Вдосконалення технології гасіння пожеж різних класів (D1 та A) за наявності сполук магнію» (номер державної реєстрації 0117U005254), у якій здобувач був відповідальним виконавцем.

Ідея роботи полягає у забезпеченні ефективного гасіння пожеж класу D магнію та його сплавів шляхом створення нових рецептур вогнегасного порошку із застосуванням вітчизняної сировинної бази та технічних засобів його подавання.

Мета роботи. Метою роботи є розкриття особливостей впливу виду, співвідношення компонентів, а також засобів подавання вогнегасного порошку спеціального призначення на ефективність процесів припинення горіння магнію та його сплавів.

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

- провести аналіз сучасного стану розроблення і застосування вогнегасних порошків для гасіння пожеж класу D і виявити шляхи підвищення ефективності пожежогасіння магнію та його сплавів;
- розробити методики та провести дослідження з виявлення впливу і співвідношень компонентів вогнегасного порошку спеціального призначення для гасіння пожеж класу D із вітчизняної сировини на показники його якості;
- удосконалити математичну модель SolidWorks та з її застосуванням змодельовати процеси формування струменів вогнегасного порошку насадкою-заспокоювачем порошкового вогнегасника спеціального призначення;
- обґрунтувати параметри, розробити схемні рішення, розробити та виготовити насадку-заспокоювач порошкового вогнегасника спеціального призначення, а також провести його випробування;

– розробити методику визначення ефективності вогнегасних порошків для гасіння пожеж класу D у разі гасіння модельних вогнищ з наявністю магнію та його сплавів;

– провести дослідження з визначення вогнегасної ефективності розроблено вогнегасного порошку для гасіння пожеж класу D та технічного засобу його застосування в полігонних умовах, а також розробити проекти технічних документів на їх виготовлення та використання для припинення горіння магнію та його сплавів на початковій стадії пожежі.

Об’єкт досліджень – процеси припинення горіння магнію та його сплавів.

Предмет досліджень – вплив виду та співвідношення компонентів вогнегасного порошку спеціального призначення, а також параметрів технічного засобу його подавання на ефективність процесів припинення горіння магнію та його сплавів.

Методи дослідження. В роботі було використано комплексний метод дослідження, який включає аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень за напрямом гасіння пожеж класу D, метод вогневих лабораторних та полігонних випробувань, комп’ютерне моделювання для дослідження насадок-заспокоювачів із використанням програмного продукту COSMOSFloWorks, методи планування експерименту, методи математичної статистики.

Для проведення експериментальних досліджень використовували метрологічно атестоване обладнання та повірені засоби вимірювання. Результати теоретичних досліджень порівнювались із результатами експериментів, які проводились в лабораторії та в полігонних умовах.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розкритті особливостей впливу та співвідношень компонентів вогнегасного порошку спеціального призначення, а також параметрів технічного засобу його подавання, на ефективність припинення горіння магнію та його сплавів. При цьому:

уперше:

– науково обґрунтовано і розроблено нову рецептуру та технічні вимоги вогнегасного порошку спеціального призначення з вмістом хлориду натрію (до 73,5%, мас.), шлаку металургійного виробництва (до 25%, мас.) та гідрофобного аеросилу (до 1,5%, мас.).

– із застосуванням програмного продукту COSMOSFloWorks змодельовано процес руху та траєкторії твердих частинок запропонованого вогнегасного порошку для гасіння пожеж класу D і науково обґрунтовано параметри насадки-заспокоювача порошкового вогнегасника, придатного для припинення горіння магнію та його сплавів на початковій стадії виникнення пожежі класу D;

набула подальшого розвитку методика з визначення ефективності гасіння пожеж класу D (гасіння магнію, алюмінію та їх сплавів) вогнегасними порошками спеціального призначення;

удосконалено технічний засіб пожежогасіння, застосування якого підвищує ефективність гасіння пожеж класу D, зокрема, магнію та його сплавів, завдяки оптимізації насадки-заспокоювача порошкового вогнегасника,

спорядженого розробленим вогнегасним порошком для гасіння пожеж класу D на основі вітчизняної сировинної бази.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено конструкцію насадки-заспокоювача для подавання вогнегасного порошку та виготовлено її експериментальний взірець. Розроблено рецептуру вогнегасного порошку спеціального призначення, що дасть змогу виготовляти в Україні вогнегасні засоби для гасіння пожеж класу D.

Дослідний зразок вогнегасника, заповненого вогнегасним порошком спеціального призначення та оснащеного розробленою насадкою-заспокоювачем, застосовується пожежно-рятувальними підрозділами ОРС ЦЗ ДСНС України у Львівській області та отримав схвальні відгуки. Запропонований проект методики може доповнювати нормативні документи та дасть змогу в Україні випускати якісні вогнегасні порошки спеціального призначення. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі ЛДУБЖД при викладанні дисциплін «Пожежна тактика», «Тактика пожежогасіння та рятувальних робіт», «Пожежна техніка» та «Охорона праці в галузі»; на ТзОВ НВП «Вогнеборець» при розробці та виготовленні насадки-заспокоювача, вогнегасного порошку для гасіння пожеж класу D, для гасіння магнію та його сплавів; поданий на розгляд проект «Методики з визначення ефективності гасіння пожеж класу D (гасіння магнію, алюмінію та їх сплавів) вогнегасними порошками спеціального призначення» у Державному центрі сертифікації ДСНС України.

Подано 2 патенти України на винахід: «Вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-1»; «Заспокоювач для подавання вогнегасного порошку при гасінні пожеж класу D1».

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному аналізі літературних джерел, формулюванні мети та завдань досліджень, обґрунтуванні методології та виборі методик, у плануванні та безпосередньому проведенні лабораторних та полігонних випробувань з узагальненням одержаних результатів. Особистий внесок у наукових працях, опублікованих за співавторства, відображено в авторефераті та анотації дисертації. Всі основні результати дисертаційного дослідження отримані автором самостійно. Керівник роботи і здобувач виконали спільно постановку задач і загальні висновки.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 6 Міжнародних та Всеукраїнських науково-практичних та науково-технічних конференціях, а саме: VII Міжнародній науково-практичній конференції "Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації" – (Львів, 2016 р.); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» – (Черкаси, 2017 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» – (Черкаси, 2018 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» – (Львів, 2018 р.); 20-ій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та

перспективи розвитку» – (Київ, 2018 р.), XVII Міжнародній науково-методичній конференції «Безпека життя і діяльність людини – освіта, наука, практика» – (Рівне, 2019 р.).

Публікації. Основні результати досліджень опубліковані у 13 наукових працях, із них 6 – у фахових наукових виданнях (з них одна входить в базу Scopus), 7 – у збірниках матеріалів науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з титульного аркуша, анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних джерел із 117 найменувань на 12 сторінках, та 3 додатків на 22 сторінках. Основна частина дисертації займає 125 сторінок та містить 31 рисунок, 28 таблиць і 1 діаграму. Загальний обсяг роботи – 159 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи та важливість вдосконалення технології гасіння пожеж класу D магнію та його сплавів, сформульовано ідею, мету і визначено завдання досліджень, відображено наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію та публікування основних результатів дослідження.

У **першому розділі** наведено аналіз наукової літератури щодо досліджень гасіння пожеж класу D, а саме магнію та його сплавів, і встановлено, що експериментальним і теоретичним дослідженням гасіння пожеж класу D магнію та його сплавів присвячені роботи багатьох науковців. Відомі ґрунтовні роботи зарубіжних учених в галузі гасіння пожеж класу D, які проведені 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 насадки-заспокоювача для його подачі під час гасіння пожеж класу D магнію та його сплавів. Також під час огляду проаналізовано найбільш резонансні пожежі, спричинені наявністю сплавів магнію, в Україні та світі. Охарактеризовано запалювальну зброю на основі сплавів магнію та небезпеку її для складів з боєприпасами. Наведено галузі застосування сплавів магнію та стрімке зростання їх використання у промисловості. Описано фізико-хімічні властивості магнію, а також способи гасіння пожеж класу D та їх недоліки.

У **другому розділі** досліджено вогнегасні порошки та розроблено рецептуру для гасіння пожеж класу D.

Згідно з розробленою методикою, в лабораторних умовах проводили дослідження з випробування окремих вогнегасних порошків для гасіння магнію та його сплавів. Готували наважки вогнегасних речовин та стружки сплаву магнію (20 г), яку висипали на термостійке деко та рівномірно розподіляли по площі 200x100 мм². Газовим пальником підпалювали стружку сплаву магнію та після розповсюдження полум'я на площі більшій за половину розпочинали процес гасіння однією з підготовлених вогнегасних речовин (рис. 1). Результати

гасіння заносили в таблицю, де вказували витрату вогнегасної речовини, час гасіння та розраховану інтенсивність подачі вогнегасної суміші.



Рисунок 1 – Випробування вогнегасних порошоків для гасіння сплавів магнію в лабораторних умовах

Після проведення випробувань окремих вогнегасних порошоків було визначено найефективніші з них. Проведені лабораторні дослідження вогнегасних сумішей, які складаються з хлориду натрію, меленого шлаку і аеросилу, та визначено параметри гасіння. Встановлено оптимальне співвідношення складників вогнегасного порошку, які забезпечують мінімальну величину інтенсивності подавання.

Було досліджено 15 рецептур, де складові змінювалися в межах: хлорид натрію – 57,5 до 78,5%, мелений шлак – від 20 до 40 % та аеросил – від 1,5 до 2,5 %. З рис. 2 і 3 видно, як змінюється інтенсивність гасіння залежно від співвідношення компонентів вогнегасного порошку.

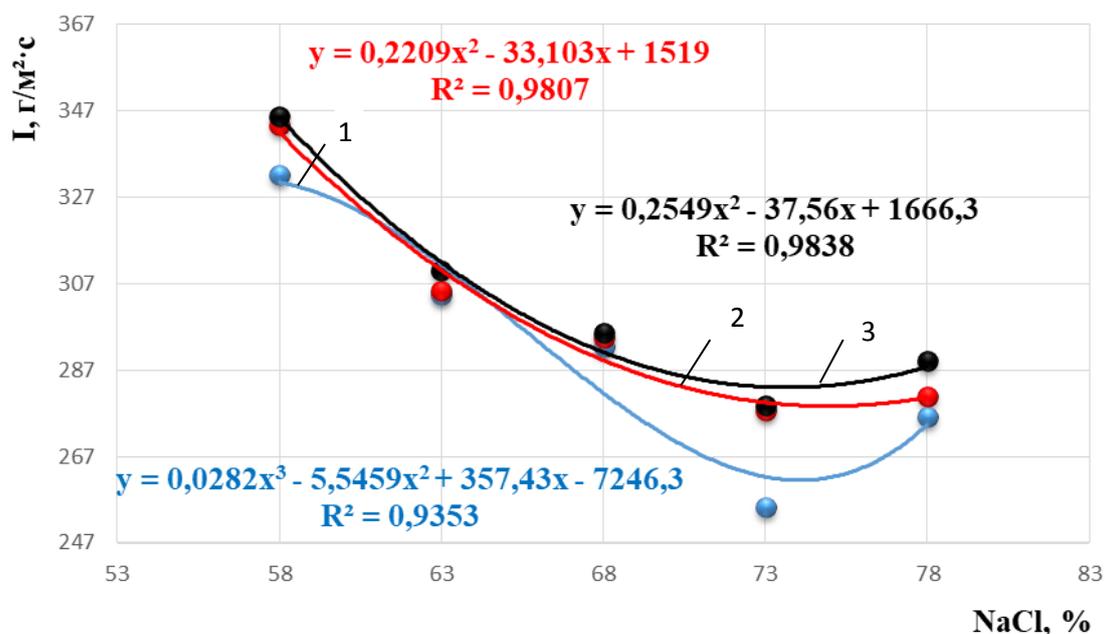


Рисунок 2 – Залежність інтенсивності подачі вогнегасного порошку від вмісту меленого шлаку та NaCl в межах від 57,5 до 78,5% при аеросилі: 1 – 1,5%; 2 – 2,0%; 3 – 2,5% аеросилу

Як видно з рис. 2 та 3, менша кількість аеросилу краще впливає на процес гасіння, а саме на інтенсивність гасіння та витрату вогнегасної речовини.

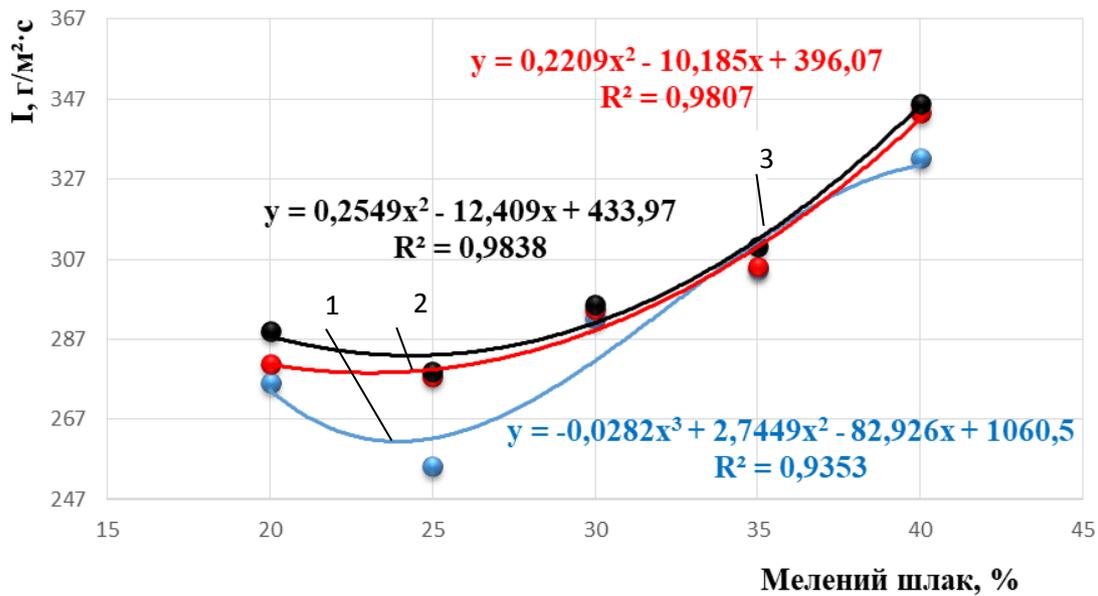


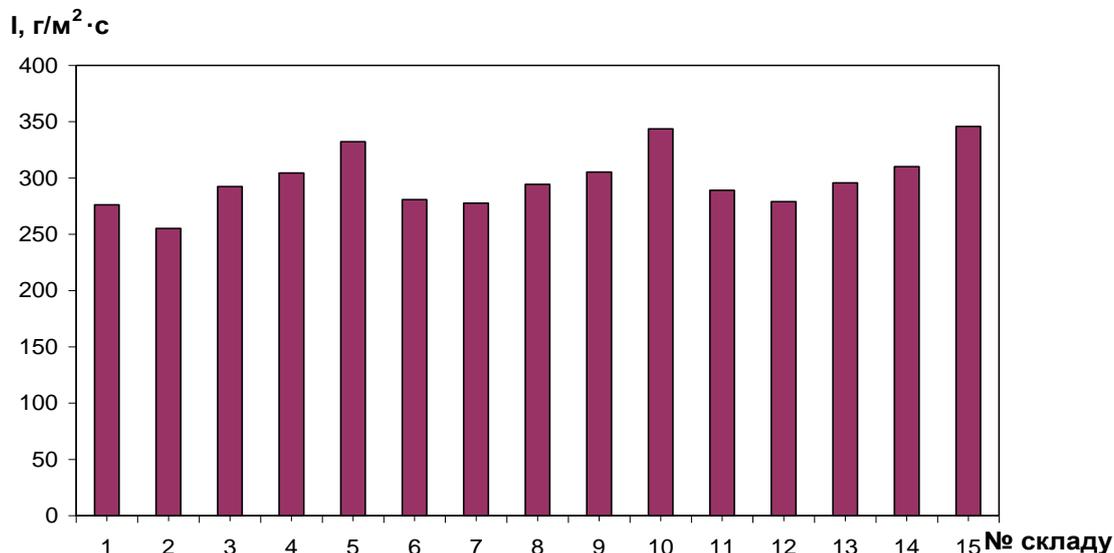
Рисунок 3 – Залежність інтенсивності подавання вогнегасного порошку від вмісту NaCl та меленого шлаку в межах від 25 до 40% при: 1 – 1,5%; 2 – 2,0%; 3 – 2,5% аеросилу

Таблиця 1

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

№ з/п	Вид вогнегасної речовини			Витрата, кг	Час гасіння $t_{сер}$, с	Інтенсивність I , кг/(м ² ×с)
	NaCl, %	мелений шлак, %	аеросил, %			
1	78,5	20	1,5	0,157	28,5	0,276
2	73,5	25	1,5	0,148	29,1	0,255
3.	68,5	30	1,5	0,167	28,6	0,292
4.	63,5	35	1,5	0,188	31	0,304
5.	58,5	40	1,5	0,2	30,1	0,332
6.	78	20	2	0,155	26,9	0,280
7.	73	25	2	0,146	26,2	0,277
8	68	30	2	0,162	28,6	0,294
9.	63	35	2	0,182	30	0,305
10	58	40	2	0,2	29,1	0,343
11	77,5	20	2,5	0,157	27,9	0,289
12	72,5	25	2,5	0,149	26,8	0,278
13	67,5	30	2,5	0,169	29,8	0,295
14	62,5	35	2,5	0,189	31,4	0,31
15	57,5	40	2,5	0,2	30,8	0,345

Крім того, побудовано залежність інтенсивності гасіння вогнегасним складом в залежності від співвідношення складових компонентів (діаграма 1). Як бачимо найефективнішим вогнегасним порошком є рецептура № 2, яка має найменшу інтенсивність подачі вогнегасної суміші, а значить, найкращу ефективність гасіння.



Діаграма 1. Залежність інтенсивності гасіння I від вогнегасного складу

Покращено властивості вогнегасного порошку додаванням меленого шлаку та аеросилу, які надають вогнегасному порошку термостійкості, ізолювальної і антизлежувальної здатності, текучості та вогнегасної ефективності. Результати експериментального дослідження впливу основних параметрів процесу гасіння вогнегасним порошком магнію та його сплавів адекватно відображає дослідно-емпірична залежність, виведена на основі теорії планування багатофакторного експерименту.

У роботі експериментальні дослідження виконували згідно з планами матриць дробових факторних експериментів (ДФЕ). ДФЕ проводили згідно з планом №28, при цьому за основні параметри гасіння вогнегасним порошком прийнято: G (фактор X_1), t (фактор X_2) та C (фактор X_3). Інші фактори незмінні. Рівні варіювання факторів для ДФЕ типу №28 наведено у таблиці 2.

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

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

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

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

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

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

Результати експериментів опрацьовували згідно з відомою методикою, яка містить статистичний аналіз досліджень. Перевірка гіпотези про адекватність отриманої математичної моделі проводиться за даними матриці планування і результатів з неповторюваними 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

Рівні варіювання факторів для ДФЕ типу №28

№ з/п	Характеристика фактора	Кодоване позначення	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
			Верхній	нижній	
1	Витрата вогнегасного порошку G , кг	X_1	0,2	0,148	0,052
2	Час гасіння t , с	X_2	31	26,2	4,8
3	Склад вогнегасної речовини C (% хлорид натрію)	X_3	78,5	58	20,5

Вплив параметрів процесу порошкового гасіння на інтенсивність гасіння досліджували згідно з матрицями планів, складених на підставі теорії планування багатфакторних експериментів. Ця теорія дає змогу описати фізичний процес відповідною статистично-математичною залежністю, а при застосуванні статистичних процедур обробки даних – відповідним регресійним рівнянням.

Параметри подачі вогнегасного порошку призначають на підставі дослідно-емпіричних залежностей, які характеризують зв'язок основних параметрів гасіння із забезпечуваними інтенсивністю гасіння. Гасіння магнію та його сплавів характеризується часом гасіння, витратою порошку та його складом. Внаслідок цього на поверхні гасіння утворюється шар вогнегасного порошку який припиняє процес горіння стружки сплавів магнію. Процес гасіння залежить від формування параметрів подачі та складу вогнегасного порошку, які відіграють визначальну роль у підвищенні ефективності процесу гасіння. Це відбувається в результаті впливу оптимальних параметрів процесу

гасіння: витрата вогнегасного порошку G , час гасіння t та склад вогнегасної речовини C . Взаємний вплив параметрів процесу гасіння на ефективність через складність теоретичного прогнозування цього процесу доцільно досліджувати експериментально.

Під час гасіння стружки сплавів магнію контролювали такі параметри процесу гасіння: витрату вогнегасного порошку G , час гасіння t та склад вогнегасної речовини C . За оптимальні параметри при гасінні стружки сплавів магнію прийнято – витрату вогнегасного порошку G , час гасіння t та склад вогнегасної речовини C . Інші фактори стабілізовані: діаметр посудини для подачі вогнегасного порошку становить 30 мм; вага наважки стружки магнію – 20 г.; S – площа вогнища постійна – 2000 мм². На підставі експериментальних досліджень під час гасіння стружки сплаву магнію прийняті такі межі зміни факторів: $G = 0,148 - 0,2$ кг $t = 26,2 - 31$ с; $C = 1 - 15$.

Матриці планування дробових багатфакторних експериментів і виміряні значення зазначених параметрів процесу гасіння, отримані на стружці сплаву магнію при гасінні.

Обробку результатів експериментальних досліджень проводили згідно з викладеною у загальноприйнятій методиці. Математичні залежності у кодованих змінних для визначення інтенсивності подачі вогнегасного порошку після перевірки однорідності дисперсій, відтворюваності у дослідях за критерієм Кохрена, значущості коефіцієнтів регресій за допомогою критерію Стьюдента та адекватності математичних моделей при застосуванні критерію Фішера мають вигляд:

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

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

$$I = 10^{lgI}. \quad (4)$$

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

У третьому розділі наведено математичне моделювання подачі вогнегасного порошку з заспокоювачів різної конструкції. З метою визначення оптимальної конструкції насадки було проведено дослідження в полігонних умовах без гасіння магнієвих сплавів з визначенням кількості потрапляння порошку на об'єкт гасіння, алгоритм якого представлено на рисунку 4.

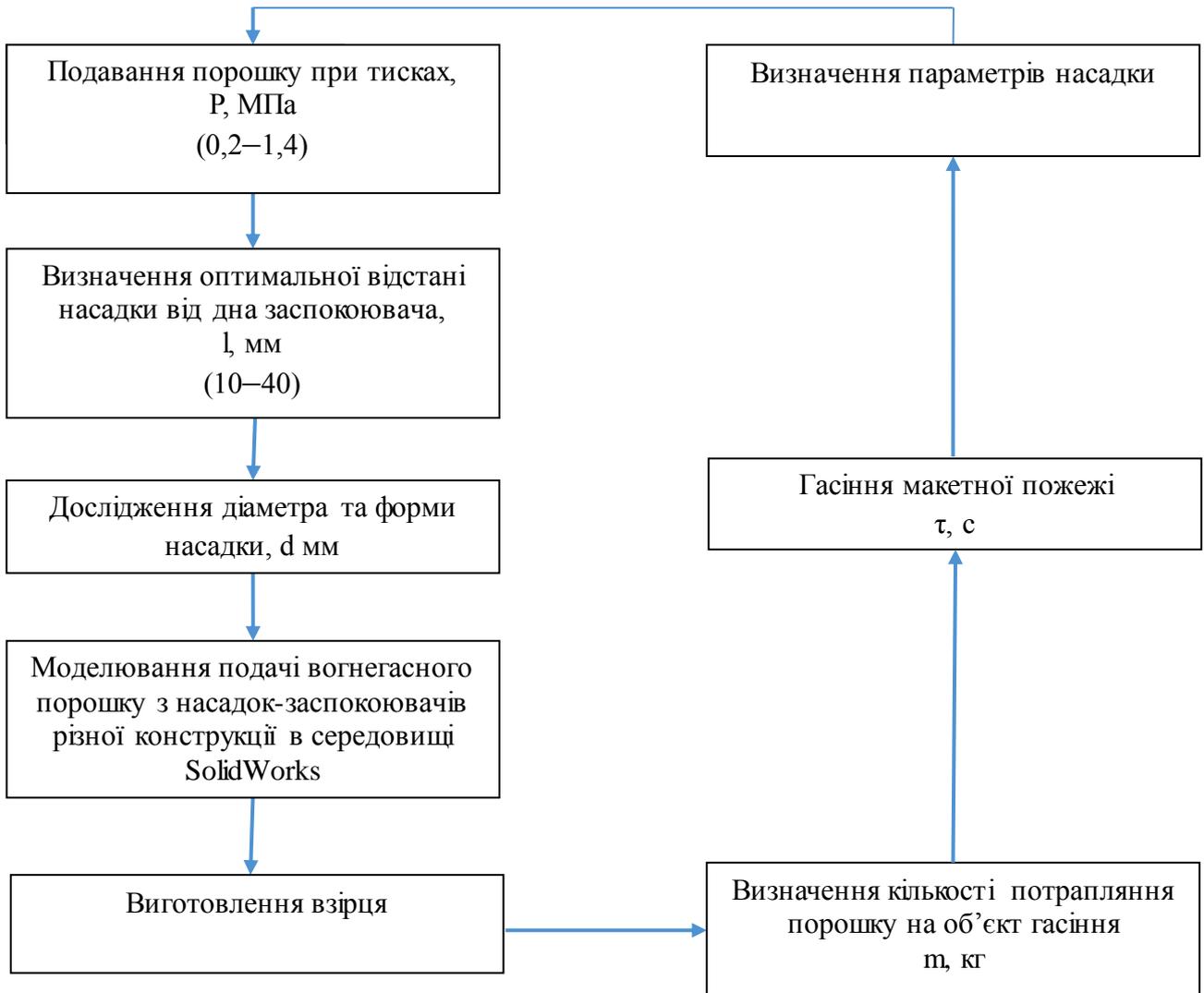


Рисунок 4 – Алгоритм дослідження при розробці насадки-заспокоювача

На рис. 5 представлено схему установки для дослідження параметрів насадки-заспокоювача.

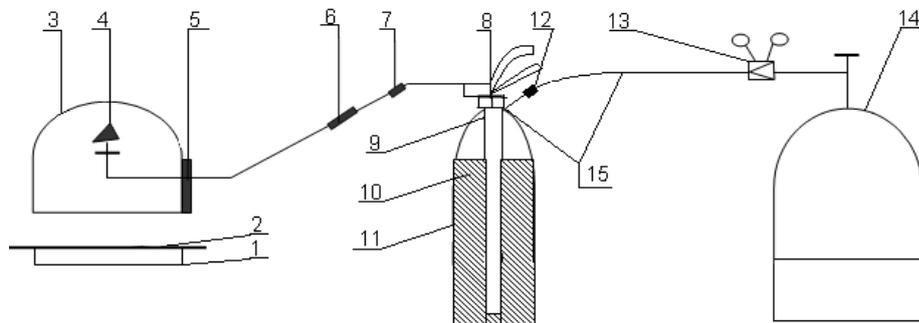


Рисунок 5 – Схема установки для дослідження параметрів насадки-заспокоювача: 1 – вага; 2 – квадратне деко 0,4x0,4 м для збору порошку; 3 – корпус заспокоювача; 4 – насадка; 5 – пристрій для переміщення насадки з трубкою в корпусі; 6 – рукоятка; 7 – щипці; 8 – запірно-пусковий пристрій вогнегасника; 9 – сифонна трубка; 10 – порошок; 11 – корпус вогнегасника; 12 – щипці для повітряного шланга; 13 – редуктор з манометрами; 14 – балон з повітрям; 15 – шланги

Кожний експеримент проводився 3 рази. Результати дослідів, які відрізняються більше ніж на 15%, до уваги не брались. Для визначення ефективності насадки-заспокоювача потрібно провести дослідження за 3-ма показниками: тиск, при якому здійснюється подавання вогнегасного порошку; відстань від днища заспокоювача до вихідного отвору насадки; діаметр вихідного отвору насадки.

Параметри за часом викиду порошку та масою попадання порошку на об'єкт гасіння з використанням сітки з вічком 2 і більше мм гірші, ніж при подаванні без сітки з насадками, розміщеними навіть на відстані 4 см, 2,5 см і т.ін. В подальшому сітки не досліджувались. Встановлено, що кращі результати з подавання порошку на об'єкт гасіння дають дифузори з діаметром 16 мм, розміщені на відстані 1см до дна заспокоювача.

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 за допомогою рівнянь Нав'є–Стокса, які в нестационарній формі описують закони збереження маси, імпульсу та енергії.

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k) &= 0, \\ \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{\partial P}{\partial x_i} &= S_i, \\ \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}((\rho E + P)u_k + q_k - \tau_{ik}u_i) &= S_k u_k + Q_H, \end{aligned} \quad (5)$$

де t – час, u – швидкість текучого середовища, ρ – 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, τ_{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

$$q_i = - \left(\frac{\mu_i}{Pr} + \frac{\mu_i}{\sigma_c} \right) c_p \frac{\partial T}{\partial x_k}, k = 1, 2, 3, \quad (6)$$

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

$$\rho = \rho(P, T, y), \quad (7)$$

де $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ – вектор концентрацій компонентів текучого середовища.

Для газів використовується рівняння стану ідеального газу $\rho = P / (RT)$, 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 від температури використовується рівняння

$$\rho = \left[\sum_{i=1}^N \frac{y_i}{\rho_{0i}} (1 + \beta_{Ti} (T - T_0)) \right]^{-1}, \quad (8)$$

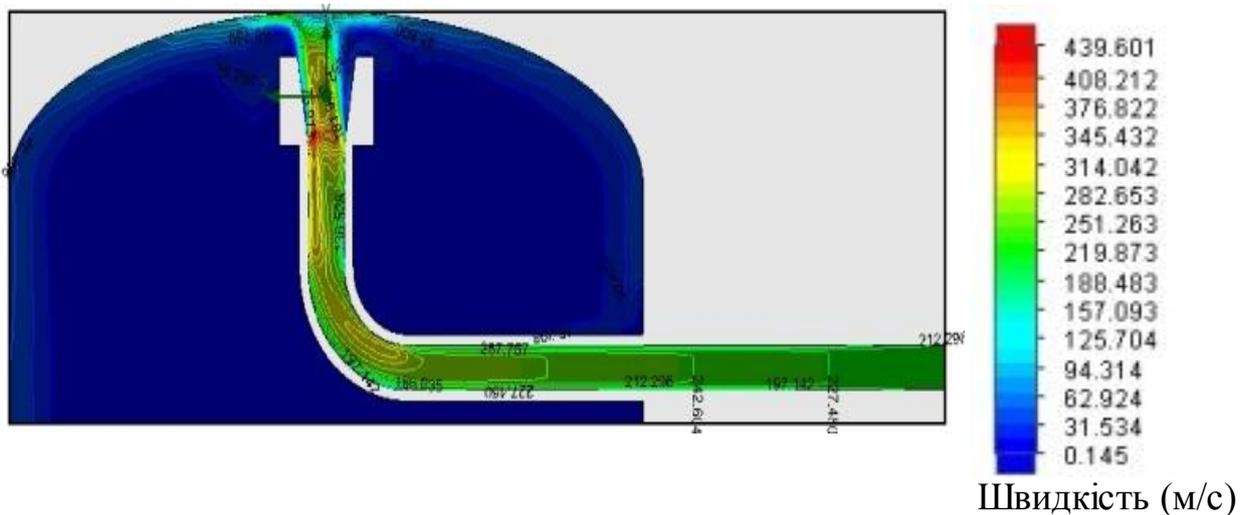
де β_{Ti} – коеф. об'ємного теплового розширення i -го компонента, ρ_{0i} – густина i -го компонента при деякій температурі T_0 .

Вплив гравітації моделюється з допомогою члена S_i , що входить в (5) як зовнішня масова сила:

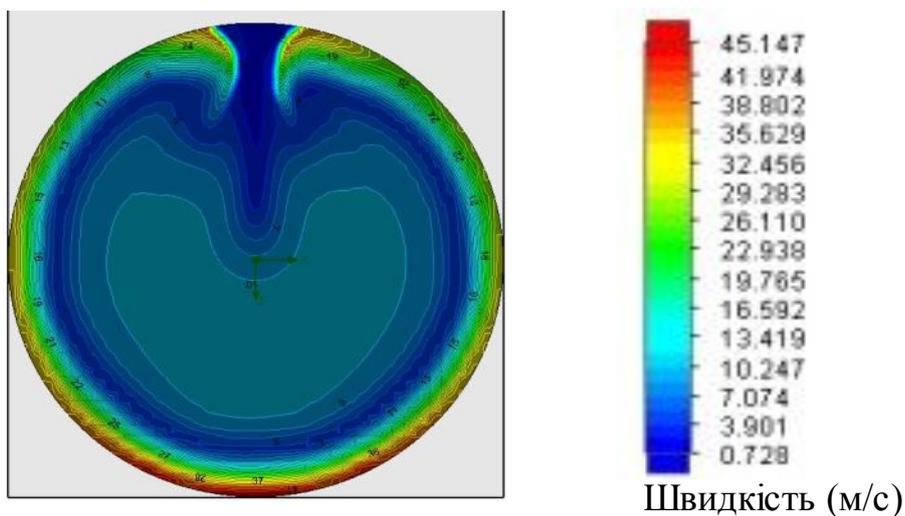
$$S_i = -\rho g_i, \quad (9)$$

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

Під час дослідження вибрано найбільш оптимальну конструкцію за запропонованою математичною моделлю. На рис. 6 а представлено хромограму витікання цього ж газу із дифузора під тиском 0,2 МПа, який вдаряється в еліптичне днище.



а



б

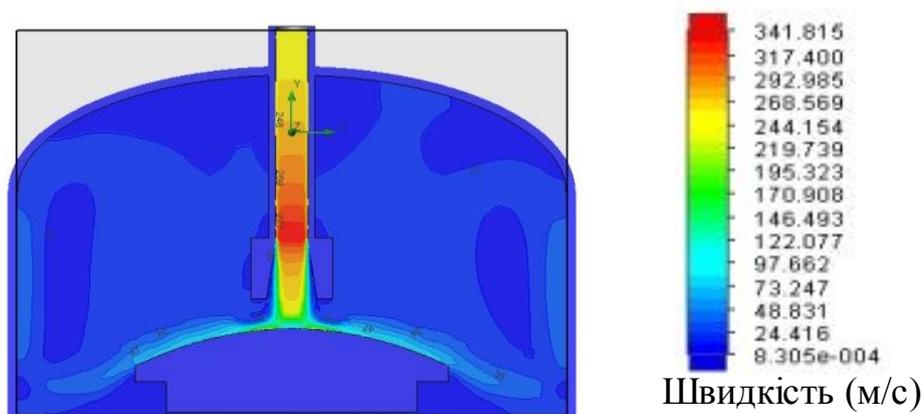
Рисунок 6 – Хромограма витікання газу: а – вертикальний симетричний переріз; б – горизонтальний переріз біля виходу

Як видно із рис. 6 а, максимальне значення швидкості зменшується на 25%. Це можна пояснити падінням опору внаслідок зміни геометрії стінки, в яку вдаряється потік газу.

На рис. 6 б показано хромограму витікання газу із корпусу насадки (переріз повернуто на 90° за годинниковою стрілкою) в самій його нижній частині. Як видно із хромограми, максимальне значення швидкості (45 м/с) майже в чотири рази вище ніж у попередньому випадку, а течія газу структурується за швидкістю відносно стінки.

Як видно із рис. 7, 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.

Така конструкційна схема повинна бути більш ефективною, тобто повинно відбуватися більше сповільнення руху твердої фази і, як наслідок, більше її попадання на об'єкт гасіння.



а

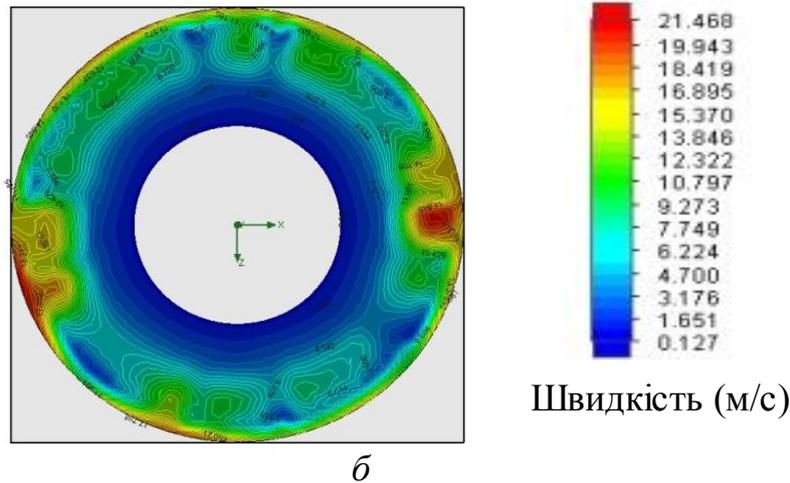


Рисунок 7 – Хромограма витікання газу: а – вертикальний симетричний переріз; б – горизонтальний переріз біля виходу

Хромограми витікання газу в обох перерізах корпусів насадки-заспокоювача представлені на рис. 7 а та рис. 7 б. Як видно із аналізу рис. 7, протікання газу є симетричним та турбулентним, а значення його швидкостей дещо зменшилися у порівнянні із минулим варіантом виконання конструкції. Особливо зменшилась швидкість газу на виході із корпусу насадки-заспокоювача – більш ніж в два рази (з 45 м/с до 21 м/с – рис 7 б).

Високу та симетричну турбулентність протікання газу зображено на рис. 7. Потік газу є досить симетрично закрученим і має добре виражені зони турбулентності, які повинні призводити до гасіння швидкості руху твердої фази рухомого середовища.

Змодельовано подавання порошку (рис. 8, 9) з насадки-заспокоювача з еліптичним верхом.

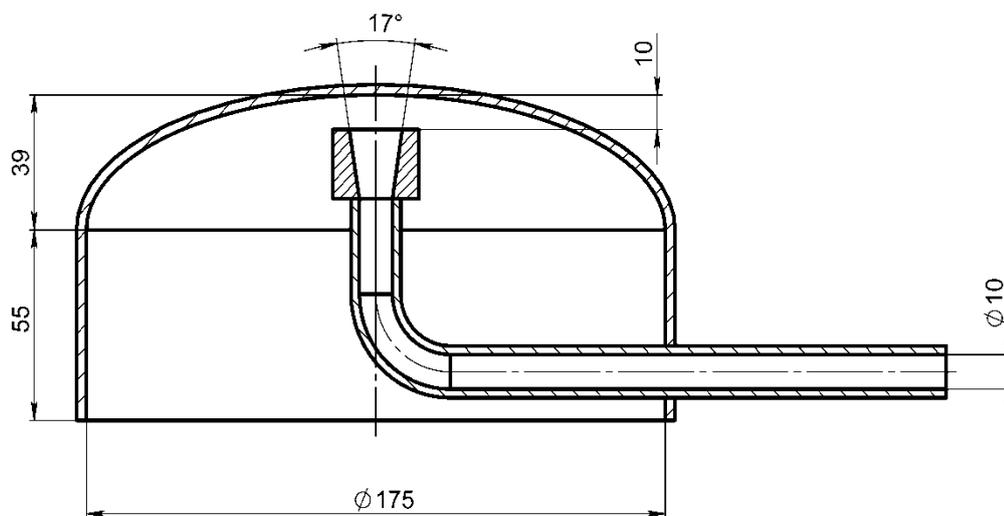


Рисунок 8 – Розрахункова модель заспокоювача із еліптичним верхом

Як показало моделювання насадки-заспокоювача з еліптичним дном, його використання є ефективнішим від сферичного. Не дивлячись на вищі значення швидкості руху газу, максимальне значення швидкості руху частинок твердої фази суміші є на 27 % меншим, ніж у попередньому випадку.

Тиск в корпусі вогнегасного пристрою повинен бути високий для аерації порошку та транспортування його на далекі відстані, а на виході порошок повинен рухатись направлено і плавно, інтенсивно покриваючи поверхню.

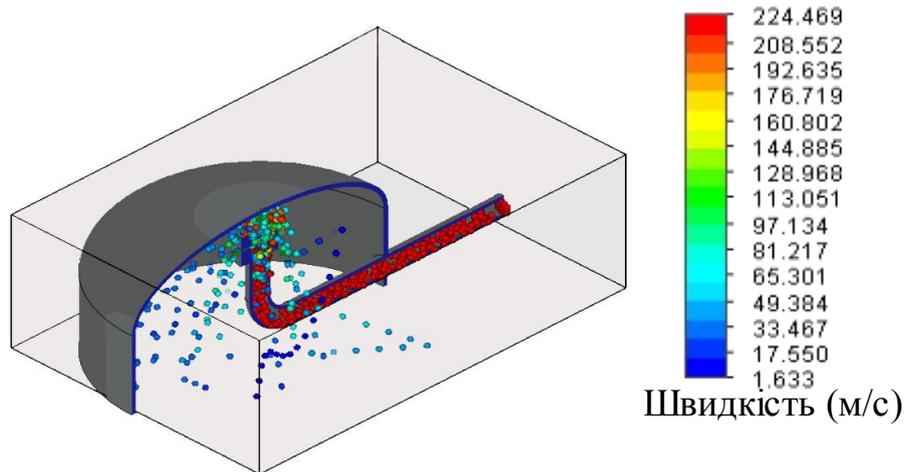


Рисунок 9 – Траєкторії руху твердих частинок всередині корпусу насадки-заспокоювача

Запропоновано насадку-заспокоювач (рис.10, 11) для подавання вогнегасного порошку для гасіння пожеж класу D з двома робочими поверхнями – еліптичним верхом та параболічним відбивачем.

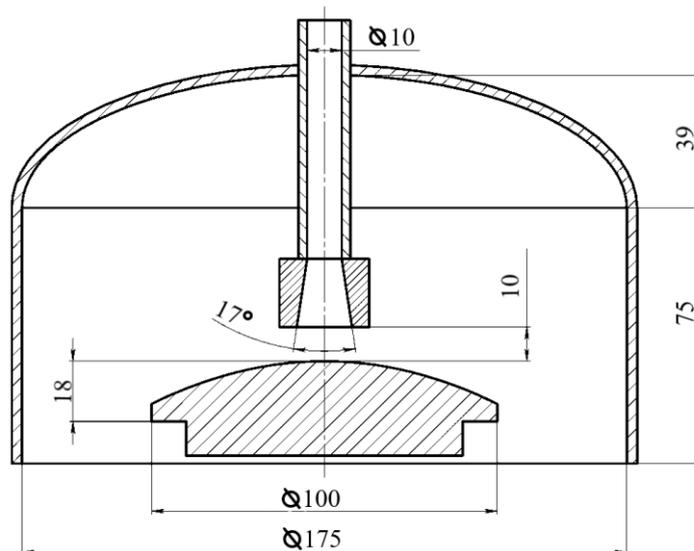


Рисунок 10 – Розрахункова модель заспокоювача із еліптичним верхом та додатковим параболічним дзеркалом

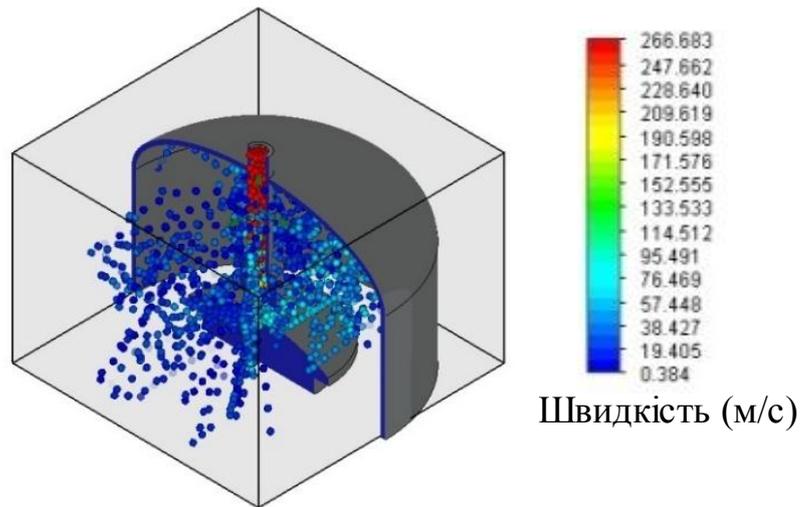


Рисунок 11 – Траєкторії руху твердих частинок всередині корпусу насадки-заспокоювача із додатковим дзеркалом

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.

На рис. 12. зображено процес гасіння пожежі за допомогою експериментального зразка вогнегасника із одностороннім відбивачем та розробленим заспокоювачем з двома робочими поверхнями.



а

б

Рисунок 12 – Гасіння пожежі за допомогою експериментального зразка вогнегасника із заспокоювачем: а – односторонній відбивач; б – двосторонній відбивач

Потрапляння порошку на об'єкт гасіння становить більше 0,920 кг при використаних 0,978 кг, що становить більше 90% вогнегасної речовини, витраченої на гасіння. Заспокоювач з двома робочими поверхнями ефективніший від попереднього заспокоювача з одностороннім відбивачем з однією робочою поверхнею на 30 % за кількістю порошку, який потрапив в зону горіння. Це покращує ефективність гасіння, дає змогу більшим шаром порошку покривати поверхню горіння, не роздмухуючи стружку з поверхні

горючого металу. Час гасіння макетного вогнища з 20 с зменшився до 7 с та збільшилась кількість порошку на поверхні гасіння.

Використання насадки-заспокоювача є ефективним для припинення горіння пожеж класу D на початковій стадії. Обмеженням цієї конструкції полягає в гасінні масштабних пожеж легких металів.

При виготовленні насадки-заспокоювача враховано вимоги до матеріалу, з якого виготовляється насадка. Він має високу температуру плавлення і є легким. Це дає змогу довший час працювати в зоні високих температур.

У четвертому розділі запропоновано проект методики для визначення ефективності гасіння пожеж класу D. В Україні відсутня методика з випробування ефективності вогнегасних порошків спеціального призначення для гасіння пожеж класу D. Проаналізовані закордонні нормативні документи, в яких зазначені методики випробувань вогнегасних порошків спеціального призначення для гасіння пожеж класу D. А саме: методики, викладені в міжнародному стандарті ISO 7165:2017 «Fire fighting – Portable fire extinguishers – Performance and construction» (Пожежогасіння – Переносні вогнегасники – Виконання та будівництво) та ГОСТ 53280.5-2009 Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества.

Обидві методики мають ряд недоліків, які потрібно усунути при створенні проекту української методики випробувань вогнегасних порошків для гасіння пожеж класу D, а саме: розміри металевого каркасу з листової сталі зі стороною (500 ± 10) мм, висотою (150 ± 5) мм і товщиною стінок від 2,5 мм до 3,0 мм для проведення випробувань з використанням магнієвої стружки є малими; не вказана кількість бензину, яка необхідна для розпалу магнію; газовий чи кисневий факел, який використовується для розпалу магнію, не забезпечує повноцінного горіння по всій площі, а тільки створює окремі осередки займання.

Розроблено проект методики, яка визначає вогнегасну ефективність порошків цільового призначення, які використовуються в Україні. Визначена необхідна кількість палива для підпалу магнію та його сплавів. Встановлено, що для підпалу магнієвої стружки в умовах експерименту необхідно використовувати не менше 127 грамів бензину марки А 92.

Економічну ефективність розробленого вогнегасного порошку характеризує їх вартість та мінімальна кількість порошку для досягнення гасіння пожежі. Якщо порівняти вартість запропонованого вогнегасного порошку, що становить 6,14 грн за кг та існуючих марок а саме: ПС-1, ПГС, ПХ, Петрос-2М (який на сьогодні не випускається); Іспанського виробництва Modelo 570, Modelo 571; Європейського виробництва TOTALIT M, виробництва США M28, L2; Російського виробництва П-1, ПХК, ПГХК «Завеса»; вартість яких становить від 10 до 14 грн, то видно, що запропонований вогнегасний порошок дешевший 1,9 раза. Річна потреба в такому порошку становить близько 100 тонн.

Також на витрату вогнегасного порошку впливає пристрій для його подачі, час гасіння пожежі та час від початку загоряння до початку подачі вогнегасного порошку. При проведенні досліджень існуючих насадок-заспокоювачів для

гасіння пожеж класу D магнію та його сплавів макетне вогнище було погашене за 20 с і маса порошку, яка потрапила на об'єкті гасіння при односторонньому відбивачеві заспокоювача, становить 0,63 кг. Використовуючи запропоновану насадку-заспокоювач з двома робочими поверхнями – еліптичним верхом та параболічним відбивачем для гасіння пожеж класу D магнію та його сплавів, макетне вогнище погасили за 7 с, а маса порошку, що потрапила на об'єкт гасіння, є близько 0,920 кг при використаних 0,978 кг, що становить більше 90 % вогнегасної речовини, витраченої на гасіння. Запропонований вогнегасний порошок КМ-1 з використанням двосторонньої насадки-заспокоювача погасив макетну пожежу в 2,9 рази швидше від існуючих засобів та порошоків.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі, яка є завершеною, самостійно виконаною кваліфікаційною працею, за результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень наведено розв'язання актуального наукового завдання: розкриття особливостей впливу і співвідношень компонентів вогнегасного порошку спеціального призначення, а також параметрів технічного засобу його подавання, на ефективність припинення горіння магнію та його сплавів, як підгрунтя підвищення ефективності порошкового пожежогасіння. За результатами дисертаційної роботи зроблені такі висновки:

1. За результатами проведеного аналізу сучасного стану питання щодо розроблення і застосування вогнегасних порошоків для гасіння пожеж класу D виявлено, що шляхами підвищення ефективності порошкового пожежогасіння магнію та його сплавів в Україні є створення нових рецептур таких порошоків із застосуванням вітчизняної сировинної бази, а також удосконалення технічних засобів їх подавання.

2. Розроблено методики та проведено дослідження з виявлення впливу і співвідношень компонентів вогнегасного порошку для гасіння пожеж класу D із вітчизняної сировини на показники його якості, за результатами яких розроблена рецептура вогнегасного порошку спеціального призначення КМ-1 – із вмістом хлориду натрію (до 73,5%, мас.), шлаку металургійного виробництва (до 25%, мас.) та гідрофобного аеросилу (до 1,5%, мас.).

3. Удосконалено математичну модель SolidWorks та з її застосуванням змодельовано процеси формування струменів вогнегасного порошку насадкою-заспокоювачем порошкового вогнегасника спеціального призначення, зокрема визначено оптимальні його параметри з двостороннім відбивачем, діаметром насадки 16 мм у вигляді дифузора з відстанню до дна 10 мм.

4. Обґрунтовано параметри, розроблено схемні рішення, розроблено та виготовлено насадка-заспокоювач порошкового вогнегасника спеціального призначення і за результатами експериментальних досліджень доведено ефективність його застосування для подавання вогнегасних порошоків спеціального призначення на поверхні горіння модельних вогнищ пожеж класу D, зокрема із вмістом магнію та його сплавів;

5. Розроблено методику визначення ефективності вогнегасних порошків спеціального призначення, сутність якої полягає у гасінні модельних вогнищ пожеж класу D з наявністю магнію та його сплавів випробувальним пристроєм типу вогнегасника із запропонованою насадкою-заспокоювачем із визначенням маси подавання вогнегасного порошку на одиницю поверхні модельного вогнища за умов позитивних результатів припинення їх горіння;

6. Проведено дослідження з визначення вогнегасної ефективності розробленого вогнегасного порошку для гасіння пожеж класу D та запропонованого технічного засобу його застосування в полігонних умовах, а також розроблено проекти технічних документів на їх виготовлення та використання задля припинення горіння магнію та його сплавів на початковій стадії виникнення пожежі класу D.

7. Проведено розрахунки очікуваного економічного ефекту від застосування запропонованого способу гасіння пожеж класу D з наявністю магнію та його сплавів, який становить 500 тис. грн на рік.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Проблеми гасіння магнію та його сплавів / В. В. Ковалишин, В. М. Марич, Вол. В. Ковалишин та ін. Пожежна безпека. 2016. №28. С. 58–63.

2. Дослідження хімічних речовин, як складників вогнегасних порошків для гасіння легких металів / В. В. Ковалишин, В. М. Марич, Я. Б. Кирилів та ін. Пожежна безпека. 2016. № 29. С. 46–56.

3. Оптимізація складу вогнегасних порошків для гасіння магнію / В. М. Марич, В. В. Ковалишин, Я. Б. Кирилів та ін. Пожежна безпека. 2018. №32. С. 45–54. doi: 10.32447/20786662.32.2018.07

4. Вплив насадок-заспокоювачів на ефективність гасіння пожеж класів D1 / В. М. Марич, В. В. Ковалишин, О. Л. Мірус та ін. // Вісник. 2018. № 17. С. 93–101. doi: 10.32447/20784643.17.2018.13

5. Improvement of a discharge nozzle damping attachment to suppress fires of class D / V. V. Kovalyshyn, V. M. Marych, Y. M. Novitskyi, B. M. Gusar, V. V. Chernetskiy, O. L. Mirus. Efst-ern-European Journal of Enterprise Technogies. 2018. Vol. 5, Issue 5 (95). P. 68–76. doi: 10.15587/1729-4061.2018.144874

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

Матеріали науково-технічних конференцій

7. Ковалишин В. В., Марич В. М. Проблеми гасіння магнію та його сплавів. *Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації* : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 20-21 жовтня 2016 р. Львів, 2016. С. 304–305.

8. Марич В. М., Ревуцький А. В., Гук Р. І. Забезпечення безпеки у виробництвах, де використовується магній та його сплави. *Пожежна та*

техногенна безпека. Теорія, практика, інновації : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 20-21 жовтня 2016 р. Львів, 2016. С. 316–318.

9. Дослідження хімічних речовин як складників вогнегасних порошків для гасіння магнію та його сплавів. / В. В. Ковалишин, В. М. Марич, Я. Б. Кирилів та ін. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій* : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, 18-19 травня 2017 р. Черкаси, 2017. С. 59–61.

10. Оптимізація складу вогнегасних порошків для гасіння магнію / В. М. Марич, В. В. Ковалишин, Я. Б. Кирилів та ін. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій* : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, 18-19 травня 2018 р. Черкаси, 2018. С. 54–56.

11. Використання екологічно прийнятних вогнегасних речовин / В. В. Ковалишин, В. М. Марич, Т. М. Войтович, Б. М. Гусар. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи* : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 14 вересня 2018 р. Львів, 2018. С. 42–43.

12. Ковалишин В. В., Марич В. М., Бортник М. Я. Вдосконалення конструкції насадки-заспокоювача для підвищення ефективності гасіння пожеж класу D1. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку*: тези доп. всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 9-10 жовтня 2018 р. Київ, 2018. С. 213–215.

13. Ковалишин В. В., Марич В. М. Дослідження насадок-заспокоювачів для гасіння пожеж класу D. *Безпека життя і діяльність людини – освіта, наука, практика*: зб. тез доп. міжнар. наук.-метод. конф., м. Рівне, 18-19 квітня 2019 р. Рівне, 2019. С. 115–116.

Патенти

14. Вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-1» / В. В. Ковалишин, В. М. Марич, Б. М. Гусар, Вол. В. Ковалишин, Я. Б. Кирилів: пат. Україна: МКВ А62D 1/00. № а 2018 01936; заявл. 26.02.2018.

15. Заспокоювач для подавання вогнегасного порошку при гасінні пожеж класу D1 / В. В. Ковалишин, В. М. Марич, Вол. В. Ковалишин, О. Л. Мірус, Б. М. Гусар: пат. Україна: МКВ А62D 1/01. № а 20180 03705; заявл. 06.04.2018.

Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:

[1, 7, 8] визначив проблему дослідження, проаналізував існуючі методи і способи гасіння магнію та його сплавів, запропонував завдання з їх вдосконалення та запропонував основні заходи безпеки на виробництвах, де використовується магній та його сплави;

[2, 9] дослідив вогнегасні речовини та методи гасіння пожеж легких металів на прикладі магнію та його сплавів і розробив на їх основі вогнегасні речовини та методи їх подавання;

[3, 10, 14] дослідив складники вогнегасних порошків на основі хлориду натрію з добавкою меленого шлаку та аеросилу і встановив оптимальний склад вогнегасної суміші у відсотковому відношенні для гасіння пожеж легких металів на прикладі магнію та його сплавів;

[4] дослідив засоби подачі вогнегасного порошку для гасіння сплавів магнію та розробив оптимальну конструкцію насадки-заспокоювача;

[5, 13, 15] вдосконалив конструкцію насадки-заспокоювача в такий спосіб, що дає змогу збільшити кількість потрапляння порошку на об'єкт гасіння;

[6, 12] розробив проект методики випробувань вогнегасних порошоків для гасіння пожеж класу D в Україні.

[11] сформулював висновки з використання екологічно прийнятних вогнегасних порошоків

АНОТАЦІЯ

Марич В. М. Підвищення ефективності порошкового пожежогасіння магнію та його сплавів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.02 «Пожежна безпека». – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності ДСНС України, Львів – 2019.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі – розробці рецептури вогнегасного порошку для гасіння пожеж класу D магнію та його сплавів шляхом лабораторних досліджень гасіння стружки магнію різними порошками та розробці насадки-заспокоювача для подачі вогнегасного порошку шляхом математичного моделювання та визначення його оптимальної конструкції. Для цього були проведені полігонні випробування розробленої рецептури вогнегасного порошку та насадки-заспокоювача при гасінні стружки магнію.

Досліджено вогнегасні порошки та розроблено рецептуру для гасіння пожеж класу D. Проведені лабораторні дослідження вогнегасних сумішей, які складаються з хлориду натрію, меленого шлаку і аеросилу, та визначено параметри гасіння.

Проведено математичне моделювання процесу подавання вогнегасного порошку з насадками-заспокоювачами різної конструкції. Запропоновано насадку-заспокоювач для подавання вогнегасного порошку з метою гасіння пожеж класу D з двома робочими поверхнями – еліптичним верхом та параболічним відбивачем.

Встановлено, що заспокоювач з двома робочими поверхнями ефективніший від попереднього заспокоювача з одностороннім відбивачем з однією робочою поверхнею на 30 % за кількістю порошку, який потрапив в зону горіння. Це покращує ефективність гасіння, дає змогу більшим шаром порошку покривати поверхню горіння, не роздмухуючи стружку з поверхні горючого металу. Час гасіння макетного вогнища з 20 с зменшився до 7 с та збільшилась кількість порошку на поверхні гасіння.

Розроблено проект методики, яка визначає вогнегасну ефективність порошоків цільового призначення, які використовуються в Україні. Визначена необхідна кількість палива для підпалу магнію та його сплавів.

Ключові слова: гасіння пожежі класу D магнію та його сплавів, насадка-заспокоювач, пожежі легких металів, рецептура вогнегасних порошоків спеціального призначення, методика випробування.

АННОТАЦИЯ

Марыч В. М. Повышение эффективности порошкового пожаротушения магния и его сплавов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.06.02 «Пожарная безопасность». – Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности ДСНС Украины, Львов – 2019.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-технической задачи – разработке рецептуры огнетушащего порошка для тушения пожаров класса D магния и его сплавов путем лабораторных исследований тушения стружки магния различными порошками и разработке насадки-успокоителя для подачи огнетушащего порошка путем математического моделирования и определения его оптимальной конструкции. Для этого были также проведены полигонные испытания разработанной рецептуры огнетушащего порошка и насадки-успокоителя при тушении стружки магния.

Исследованы огнетушащие порошки и разработаны рецептуры для тушения пожаров класса D. Проведенные лабораторные исследования огнетушащих смесей, состоящих из хлорида натрия, молотого шлака и аэросила и определены параметры тушения. Установлено оптимальное соотношение составляющих огнетушащего порошка, которое обеспечивает оптимальную величину интенсивности подачи. Оптимальным является следующий состав огнетушащего порошка: хлорид натрия – 73,5%, молотый шлак – 25% и аэросил – 1,5%.

Проведено математическое моделирование подачи огнетушащего порошка из успокоителей различной конструкции. Предложено насадку-успокоитель для подачи огнетушащего порошка для тушения пожаров класса D с двумя рабочими поверхностями – эллиптическим верхом и параболическим отражателем.

Установлено, что успокоитель с двумя рабочими поверхностями эффективнее предыдущего успокоителя с односторонним отражателем с одной рабочей поверхностью на 30% по количеству порошка, который попал на поверхность горения. Это улучшает эффективность тушения, позволяет большим слоем порошка покрывать поверхность горения, не сдувая стружку с поверхности горящего металла. Время тушения макетного очага с 20 с уменьшилось до 7 с и увеличилось количество порошка на поверхности тушения.

Проанализированы нормативные документы, в которых указаны методики испытания огнетушащих порошков специального назначения для тушения пожаров класса D. На основании этих методик разработан проект методики, определяющей огнетушащую эффективность порошков целевого назначения, которые используются в Украине. Определено необходимое количество топлива для поджога магния и его сплавов при проведении испытаний.

Ключевые слова: тушение пожара класса D магния и его сплавов, насадка-успокоитель, пожары легких металлов, рецептура огнетушащих порошков специального назначения, методика исследования.

ABSTRACT

Marych V.M. Improvement of the efficiency of dry chemical fire suppression of magnesium and its alloys. – Manuscript.

Thesis for a candidate degree in Engineering (doctor of philosophy) by specialty 21.06.02 – Fire Safety. – Lviv State University of Life Safety, Lviv, 2019.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific and technical problem – the development of the dry chemical powder for extinguishing fires of magnesium and its alloys (class D fires). The problem was solved by means of laboratory studies of magnesium chips extinguishing by various dry chemical powders and the development of a damping nozzle for the supply of extinguishing powder. The mathematical modeling was used for determination of its optimal construction. For this purpose, field testing of the developed dry chemical powder and the nozzle was carried out.

Dry chemical powders were studied and a formulation of DCP for the class D fires extinguishing was developed. Laboratory investigations of extinguishing mixtures consisting of sodium chloride, ground slag and aerosol were carried out and the parameters of extinguishing were determined.

The mathematical modeling of using different damping nozzles for the delivery of a DCP was carried out. A nozzle for the extinguishing of class D fire with two working surfaces – an elliptical top and a parabolic reflector was chosen.

The studies revealed that the nozzle with two working surfaces is more efficient than a pre-cooler with one-way reflector and one working surface. It allowed delivering more (about 30%) DCP into the combustion zone. That can improve the effectiveness of extinguishing, allowing covering the combustion surface with larger layer of powder without blowing it from the surface of the combustible metal. The burning time of the model fire decreased from 20 seconds to 7 seconds.

A draft methodology for determining of the fire-extinguishing efficiency of DCP was developed. The required amount of fuel for burning magnesium and its alloys was determined.

Key words: extinguishing of a class D fire, fires of magnesium and its alloys, damping nozzle, light metal fires, a formulation of special dry chemical powder, test technique.

Підписано до друку 27.04.2019 р.
Друк різнограф.
Наклад 100 прим.

Формат 60x80/16
Ум. друк. арк. 0,9
Зам. № 04/2019