

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Гусар Богдан Миколайович**

УДК 614.841

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ  
КЛАСУ D та A, B**

261 – пожежна безпека

26 – цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Б.М. Гусар

Науковий керівник **Ковалишин Василь Васильович,**  
доктор технічних наук, професор

Львів – 2021

## АНОТАЦІЯ

*Гусар Б.М.* Вдосконалення технології гасіння пожеж класу D та A, B. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 216 – пожежна безпека. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності ДСНС України, Львів, 2020.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі – підвищення ефективності пожежогасіння пожеж класу D (магнію, алюмінію та їх сплавів), а також пожеж класу A, B шляхом розроблення рецептури вогнегасного порошку спеціального призначення та використанням методу комбінованого гасіння пожежі класу D, A, B вогнегасним порошком та піною підвищеної стійкості.

В роботі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи та важливість вдосконалення технології гасіння пожеж класу D з одночасним гасінням пожеж класу A, B.

Розроблено рецептуру вогнегасного порошку для гасіння пожеж класів D та A, B. Проведені лабораторні дослідження вогнегасних порошоків різної рецептури, які складаються з хлориду натрію, меленого металургійного шлаку, амофосу і аеросилу та визначено параметри гасіння. Встановлено оптимальне співвідношення складників вогнегасного порошку, які забезпечують оптимальну величину інтенсивності подавання. Оптимальним є такий склад вогнегасного порошку: хлорид натрію – 58 %, мелений шлак – 20 % , амофос – 20,5% та аеросил – 1,5%. Покращено властивості вогнегасного порошку додаванням меленого амофосу, стеарату кальцію та аеросилу, які надають вогнегасному порошку термостійкості, ізолювальної, антизлежувальної здатності, текучості та вогнегасної ефективності. 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. На підставі аналізу даних експериментальних досліджень, тобто рівняння регресії і графічних залежностей, можна здійснити при забезпеченні оптимальної інтенсивності подавання вогнегасного порошку для гасіння магнію та його сплавів за такого оптимального співвідношення компонентів порошку: *хлорид натрію* -58%; *В мелений шлак* – 20%; *амофос* – 20,5%. Вирішити це завдання дозволяє 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 тільки для рецептури з хлориду натрію, меленого шлаку та амофосу, але і для порошоків з близькими вогнегасними властивостями та гасіння пожеж відповідних класів.

Кількість порошку фракції до 0,1 мм становить 15,53%. Такий відсоток порошку є необхідним для того щоб при подаванні важкі частинки осідали на горючу поверхню, а не піднімались вгору. Фракція 0,1 – 0,071мм становить 21.43%, найбільший відсоток 55,50% порошку становить фракція 0,071 – 0,045, що свідчить про хороші експлуатаційні характеристики. Фракція, менше 0,045мм становить 12,49%.

Встановлено показники якості вогнегасного порошку: вогнегасна здатність - 10,5 кг/м<sup>2</sup>; стійкість до термічної дії; насипна густина ущільненого порошку - не більше 1295 кг/м<sup>3</sup>.

Проведено успішне гасіння порошком КМ-2 вогнищ пожеж класу D і B, що свідчить про його ефективність.

Для прогнозування можливості теплової ізоляції осередку горіння ошукрок сплавів магнію був проведений експеримент, в лабораторних умовах. Лабораторна установка спеціально створена для визначення ефективності гасіння легких металів. Експеримент проводили у два етапи: на першому етапі для того щоб досягти встановлення теплового процесу, досліджували тонкий шар вогнегасного порошку при тривалому процесі гасіння; на другому етапі проводилося декілька експериментів для яких встановлення теплового процесу не було обов'язковим.

Створена математична модель для визначення температури на не обігріваній стороні ізолювального шару вогнегасного порошку та інтенсивності гасіння на прикладі порошку спеціального призначення КМ-2 для гасіння пожеж D, A, B. Для створення математичної моделі для цього теплового процесу були сформульовані основні положення: тепловий процес у шарі вогнегасного порошку при гасінні ошурок із сплаву магнію є нестационарним, окрім процесу у першому досліді, для якого така передумова виконується при створенні відповідних експериментальних умов; умови теплообміну на границі між вогнегасним порошком та повітрям залишаються однаковими та незмінними для всіх дослідів; температура шару на границі із горючим середовищем є сталою і не змінюється протягом часу гасіння; шар вогнезахисного порошку є однорідним, ізотропним і не містить порожнин; супутні теплові процеси у шарі вогнегасного порошку враховуються при введенні ефективного коефіцієнту теплопровідності, який визначають за емпіричними показниками; ефективний коефіцієнт теплопровідності  $\lambda(\delta)$  не залежить від температури і його значення може бути залежним від товщини шару вогнегасного порошку  $\delta$ . З огляду на прийняті основні положення для створення математичної моделі були розглянуті два типи процесів – стаціонарний та нестационарний. На границі між горючим середовищем та шаром вогнегасного порошку можна записати граничні умови I роду:  $\theta|_{x=\delta} = \theta_0$ .

Для границі між шаром вогнегасного порошку та повітрям встановлюються ГУ III роду:  $\lambda(\delta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha [\theta_1 - \theta_0]$ .

На основі створеної моделі був визначений коефіцієнт тепловіддачі між не обігрівною стороною ізолюючого шару вогнегасного порошку та навколишнім середовищем, що становить  $\alpha = 395,733 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , і досліджена залежність ефективного коефіцієнта теплопровідності від товщини цього шару. Показано, що ця залежність близька до лінійної і може бути описана формулою  $\lambda(\delta) = -0,016 + 93,907 \cdot \delta$ .

Розроблено методику визначення необхідної кількості вогнегасного порошку для досягнення відповідного ізолювального ефекту і на основі цієї методики визначена мінімальна товщина шару цього вогнегасного порошку  $\delta = 45,2$  мм.

Проведено математичне моделювання подавання вогнегасного порошку із заспокоювачів різної конструкції і обрано найбільш оптимальну конструкцію. Запропоновано насадку-заспокоювач для комбінованого подавання вогнегасного порошку для гасіння пожеж класу D та A, B з двома робочими поверхнями – еліптичним верхом та параболічним відбивачем.

Відповідність математичної моделі експериментально перевірена на фізичній моделі, у вигляді заспокоювача для подавання вогнегасного порошку для гасіння пожеж магнію, твердих горючих речовин і горючих рідин з двома робочими поверхнями – еліптичним верхом та параболічним відбивачем. Математична модель будується на основі геометричного проектування реального інженерного об'єкта в середовищі SolidWorks з подальшим автоматичним обміном необхідною інформацією і дає змогу проектувати різні насадки-заспокоювачі для гасіння пожеж класу D та A, B. В роботі проведено гасіння комбінованої пожежі за розробленою методикою, яка полягає в ізоляції горючого металу порошком та накривання піною ЛЗР, ГР, твердих горючих матеріалів, створення екрану, який не дає розповсюджуватись вогню, та доступу горючих парів в зону горіння. Гасіння макетної пожежі пройшло успішно. Порошок накрив магнієві ошурки, на верхньому шарі утворилась кірка. Піна, яка потрапила на цей шар не зруйнувалась. Вибухів від потрапляння піни на окремі частинки магнію від розкладання води, яка є в піні, не спостерігалось. Крім того, піною підвищеної стійкості накрили вогнище класу А - горіння дерев'яних брусків, ящиків, паркету. Горіння було ліквідовано на площі  $2,5 \text{ м}^2$  стволом ГПС -8 за 45 с.

**Ключові слова:** комбіноване гасіння, пожежі класу D та A, B, горіння магнію, горіння алюмінію, насадка-заспокоювач, пожежі легких металів, порошки спеціального призначення, технологія гасіння легких металів.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Наукові статті у фахових виданнях*

1. Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б., Войтович Т.М., Гусар Б.М. Перспективи розвитку пінного гасіння / Інститут державного управління у сфері цивільного захисту, XVI Міжнар. виставковий форум „Технології захисту/ ПожТех – 2017». С. 208-210.
2. 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
3. Improvement of a discharge nozzle damping attachment to suppress fires of class D / V.V. Kovalyshyn, V.M. Marych, Y.M. Novitskiy, 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
4. Гусар Б.М., Ковалишин В.В., Марич В.М., Лозинський Р.Я., Пастухов П.В. Комбіноване гасіння пожеж класу D та A, B / Пожежна безпека: Зб. наук. пр. Львів: ЛДУБЖД, 2019. №35. С. 30-34. DOI: 10.32447/20786662.35.2019.05
5. B. Gusar, V. Kovalyshyn, S. Pozdieiev, Vol. Kovalyshyn, O. Zemlianskiy, K. Myhalenko. Thermotechnical properties of the fireextinguishing powder for extinguishing materials based on magnesium alloy chips / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol 2, No 10 (104) (2020). P. 46-53. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.201748.

### ***Матеріали та тези конференцій***

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

7. Гусар Б.М., Федюк Я.І., Ковалишин В.В. Створення безпечних умов при гасінні пожеж класу D / *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності*: XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (28-29 березня 2019 р.). Львів. С. 24-25.

8. Ковалишин В.В., Марич В.М., Гусар Б.М. Аналіз методик випробувань вогнегасних порошків спеціального призначення / *Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах*: 21 Всеукр. наук.-практ. конф. (за міжнародною участю) XVIII Міжнар. спеціалізована виставка— Технології захисту / Пож Тех - 2019 (8 жовтня 2019 р). Київ. С. 122-125.

9. Гусар Б.М., Ковалишин В.В., Марич В.М. Вдосконалення технології гасіння пожеж класу D та А, В / *Надзвичайні ситуації: безпека та захист*: Матер. X Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнародною участю (29-30 жовтня 2020 р.). Черкаси. С. 133-134.

### ***Патенти:***

10. Патент на корисну модель № 145068 Україна. Вогнегасний порошок спеціального призначення для комбінованого гасіння пожеж класу D,А,В / В.В. Ковалишин, Б.М. Гусар, В.М. Марич, Вол.В. Ковалишин. u 2019 11577, опубл.25.11.2020, Бюл. № 22, - 3 с.

### **ABSTRACT**

*Husar B.M. Improvement of classes D, A, B fire extinguishing technology. – The manuscript.*

Thesis for a Candidate Degree (Engineering) on a specialty 216 - Fire safety.  
Lviv State University of Life Safety, Lviv, 2020.

The work is devoted to the solution of the actual scientific and technical problem - improvement of class D (magnesium, aluminum and their alloys), A and B fire extinguishing technology through development the dry chemical powder of special purpose formulation together with the method of combined fire extinguishing of classes D, A, B. This method means using fire-extinguishing powder and foam of the increased stability.

The relevance of the topic of the dissertation and the importance of improvement of classes D, A and B fire extinguishing technology have been substantiated in the work.

A dry chemical powder formulation for extinguishing classes A, B, D and electrical installations under voltage has been developed. Laboratory researches of dry chemical powders of various compounding consisting of sodium chloride, ground metallurgical slag, ammophos and aerosil have been carried out and extinguishing parameters have been defined. The optimal ratio of dry chemical powder components, which provide the optimal value of the supply intensity, has been established. The following composition of dry chemical powder is optimal: sodium chloride - 58%, ground slag - 20%, ammophos – 20,5% and aerosil – 1,5%. The properties of the dry chemical powder have been improved by adding ground ammophos, calcium stearate and aerosol. Those components gave the dry chemical powder heat resistance, insulating, anti-caking ability, fluidity and fire-fighting efficiency. The results of the experimental study of the influence of the main parameters of the extinguishing process of dry chemical powder have been adequately reflected by the experimental-empirical dependence derived on the basis of multivariate experiment planning theory. Due to the analysis of experimental studies, i.e. regression equations and graphical dependences, optimal result can be reached while ensuring the optimal supply intensity of dry chemical powder with the following ratio of powder components: sodium chloride – 58%; ground slag – 20%; ammophos – 20,5%. The constructed experimental empirical



dependence allows solving this problem. With its help it is easy to choose the necessary composition of dry chemical powder for extinguishing fires of classes D, A, B. This dependence is valid not only for the formulation of sodium chloride, ground slag and ammophos, but also for powders with similar fire extinguishing properties and fire extinguishing classes.

The amount of powder fraction up to 0,1 mm is 15,53%. This percentage of powder is necessary to make heavy particles settle on the combustible surface and avoid their rising. The fraction of 0,1 – 0,071 mm is 21,43% and the fraction of 0,071 – 0,045 mm has the largest percentage (55,50%) in the powder, which indicates good performance. The fraction less than 0,045 mm is 12,49%.

Quality indicators of dry chemical powder have been established: fire extinguishing capacity – 10,5 kg / m<sup>2</sup>; resistance to thermal action; bulk density – no more than 1295 kg / m<sup>3</sup>.

Successful extinguishing fires of class D and B has been performed using powder KM-2.

To predict the possibility of thermal insulation of the magnesium alloys raspings fire bed, an experiment has been conducted in the laboratory. The laboratory installation for extinguishing efficiency definition has been specially developed. The experiment has been performed in two stages: at the first stage, in order to achieve the necessary thermal process, a thin layer of fire-extinguishing powder during a long extinguishing process has been explored; at the second stage several experiments have been performed. For those experiments achieving the proper thermal process has not been necessary.

A mathematical model to determine the temperature on the unheated side of the insulating layer of dry chemical powder and extinguishing intensity on the example of special dry chemical powder KM-2 for extinguishing fires D, A, B has been created. To create a mathematical model basic principles of the thermal process have been formulated:

- thermal process in the layers of dry chemical powder during extinguishing magnesium alloy raspings is non-stationary, except for the process in the first experiment;
- heat exchange conditions at the boundary between dry chemical powder and air remain the same and unchanged for all experiments;
- the temperature of the layer at the boundary with the combustible raspings is constant and does not change during the quenching time;
- the layer of dry chemical powder is homogeneous, isotropic and does not contain cavities;
- concomitant thermal processes in the layer of dry chemical powder are taken into account when introducing an effective coefficient of thermal conductivity, which is determined by empirical indicators;
- effective thermal conductivity coefficient  $\lambda(\delta)$  does not depend on temperature and its value may depend on the thickness of the fire extinguishing powder layer  $\delta$ .

According to the accepted basic provisions for the creation of a mathematical model, two types of processes have been considered – stationary and non-stationary. At the boundary between the combustible raspings and the layer of dry chemical powder the boundary conditions of the first kind could be written:

$$\theta|_{x=\delta} = \theta_0.$$

At the boundary between the layer of dry chemical powder and air the boundary conditions of the third kind could be written:  $\lambda(\delta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha[\theta_1 - \theta_a]$ .

Due to the created model, the heat transfer coefficient between the non-heating side of the insulating layer of dry chemical powder and the environment has been determined:  $\alpha = 395,733 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ , and the dependence of the effective thermal conductivity on the thickness of the layer has been investigated. It has been shown that the dependence is close to linear and can be described by the formula  $\lambda(\delta) = -0,016 + 93,907 \cdot \delta$ .

A method for determining the required amount of dry chemical powder to achieve the appropriate insulating effect has been developed and on the basis of this

method the minimum layer thickness of the powder  $\delta = 45,2$  mm has been determined.

Mathematical modeling of dry chemical powder supply process using damping nozzles of different design has been carried out and the most optimal nozzle design has been chosen.

The adequacy of the mathematical model has been experimentally tested on a physical model, developed in the form of a damping nozzle for the supply of dry chemical powder. The nozzle has been made with two working surfaces – an elliptical top and a parabolic reflector. The mathematical model has been based on the geometric design of a real engineering object in the SolidWorks environment with subsequent automatic exchange of necessary information. SolidWorks environment makes it possible to design various nozzles for extinguishing fires of classes D and A, B. The combined fire has been extinguished according to the developed method: combustible metal has been isolated with powder and highly inflammable liquid has been covered with foam. A screen preventing the spread of fire and access of combustible vapors to the combustion zone has been created. Extinguishing of such fire has been performed successfully. Magnesium raspings have been covered with the powder and a crust has been formed on the top layer. The foam that fell on this layer has not been destructed. No explosions caused by the decomposition of the water in the foam after falling of the foam on the individual magnesium particles have been observed. In addition, the class A fire (burning wooden bars, boxes, parquet) has been covered with the foam of increased resistance. The combustion was eliminated on the area of  $2.5 \text{ m}^2$  in 45 s.

Key words: combined extinguishing, classes D and A, B fires, burning of magnesium, burning of aluminum, damping nozzle, fires of light metals, special dry chemical powders, technology of light metals extinguishing.

**LIST OF PAPERS PUBLISHED ON THE TOPIC OF THE  
DISSERTATION**

*Scientific articles in professional journals*

1. Kovalyshyn V.V., Kyryliv Ya.B., Voitovych T.M., Gusar B.M. Prospects for the development of foam extinguishing / Institute of Public Administration in the Field of Civil Protection, XVI International. Exhibition forum "Protection Technologies / PozhTech - 2017". Pp. 208-210.

2. Substantiation of fire-extinguishing powders for special purposes testing methods / V.V. Kovalyshyn, V.M. Marych, B.M. Gusar and others. Fire Safety. 2018. № 33. S. 53–59. doi: 10.32447 / 20786662.33.2018.07

3. 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. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 5, Issue 5 (95). P. 68–76. doi: 10.15587 / 1729-4061.2018.144874

4. Gusar B.M., Kovalyshyn V.V., Marych V.M., Lozynskyi R.Ya, Pastukhov P.V. Combined fire extinguishing of classes D and A, B / Fire safety: Coll. Science. Lviv Ave. : LSULS, 2019. №35. Pp. 30-34.

DOI: 10.32447 / 20786662.35.2019.05

5. Gusar B., Kovalyshyn V., Pozdieiev S., Kovalyshyn Vol., Zemlianskyi O., Myhalenko K. Thermotechnical properties of the fireextinguishing powder for extinguishing materials based on magnesium alloy chips / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol 2, No. 10 (104) (2020). P. 46-53. DOI: 10.15587 / 1729-4061.2020.201748.

*Proceedings and abstracts of conferences*

6. Kovalyshyn V.V., Marych V.M., Voitovych T.M., Gusar B.M. The use of environmentally friendly extinguishing agents / Environmental safety as a basis for sustainable development of society. European experience and perspectives: Mater. III International scientific-practical. Conf., Lviv, September 14, 2018. Lviv, 2018. P. 42–43.

7. Gusar B.M., Fedyuk Ya.I., Kovalyshyn V.V. Creating safe conditions for extinguishing class D fires / Problems and prospects for the development of life safety system: XIV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Cadets and Students (March 28-29, 2019). Lviv. Pp. 24-25.

8. Kovalyshyn V.V., Marych V.M., Gusar B.M. Analysis of methods for testing fire-extinguishing powders for special purposes / Development of civil protection in modern safety conditions: 21 scientific-practical conf. (with international participation) XVIII International Specialized Exhibition "Protection Technologies / Fire Tech - 2019" (October 8, 2019). Kiev. Pp. 122-125.

9. Gusar B.M., Kovalyshyn V.V., Marych V.M. Improvement of classes D, A, B fire extinguishing technology / All-Ukrainian Conference with International Participation "Emergencies: Security and Protection", (29-30 October, 2020). Cherkasy. Pp. 133-134.

### **Patents**

10. Fire-extinguishing powder of special purpose during extinguishing class D, A, B class fire / V.V. Kovalyshyn, V.M. Marych, O.L. Mirus, B.M. Gusar: Pat. Ukraine 140568: MKV A62D 1/00. № u 2019 11577, № 22, 3 p.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	16
ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСУ D, A, B ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	23
1.1. Аналіз пожеж магнію, алюмінію та їх сплавів .....	24
1.2. Особливості використання сплавів магнію та алюмінію та їх небезпека..	30
1.3. Особливості поводження з магнієвими сплавами, виникнення пожеж класу D та A, B .....	33
1.4. Характеристика порошків для гасіння пожеж класу D.....	36
1.5. Аналіз використання піноутворювачів для гасіння пожеж ЛЗР та ГР .....	43
1.6. Мета і завдання досліджень.....	49
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСУ D, A, B .....	51
2.1. Особливості дослідження вогнегасних порошків комбінованої дії.....	51
2.1.1 Гасіння пожежі легких металів та їх сплавів в лабораторних умовах .....	54
2.2. Методи і чинники математичного планування експериментів та їх вибір	58
2.3. Планування та опрацювання результатів факторного експерименту.....	60
2.4. Дослідно-емпіричні залежності для визначення інтенсивності пожежогасіння класів D, A, B.....	62
2.5. Полігонні випробування КМ-2 при гасінні пожеж класу A, D .....	65
2.6. Характеристика вогнегасного порошку спеціального призначення КМ-2	70
2.7. Висновки до розділу .....	74
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕСУ У ШАРІ ВОГНЕГАСНОГО ПОРОШКУ ПРИ ГАСІННІ ОШУРОК СПЛАВУ МАГНІЮ .....	76
3.1. Експериментальне дослідження ефективності гасіння горіння металів.....	77
3.2. Математична модель теплового процесу під час гасіння металів вогнегасним порошком .....	79

3.3. Методика розрахунку ізолювального шару при гасінні вогнегасними порошками ізолюючим способом .....	89
3.4. Висновки до розділу .....	90
<b>РОЗДІЛ 4. КОМБІНОВАНЕ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ</b> .....	91
4.1. Вибір піноутворювачів для гасіння комбінованих пожеж .....	91
4.1.1. Визначення кратності і стійкості піни середньої кратності.....	92
4.1.2. Визначення тривалості гасіння піною середньої кратності та показника вогнегасної здатності.....	96
4.2. Вибір заспокоювача для подавання порошку КМ-2.....	99
4.3. Гасіння комбінованої пожежі D, B, A порошком КМ-2 .....	102
4.4. Гасіння комбінованої пожежі D, B, A порошком КМ-2 та піною підвищеної стійкості.....	105
4.5. Техніка безпеки, рекомендації з гасіння комбінованих пожеж.....	108
4.5.1. Дотримання вимог охорони праці під час гасіння порошками.....	110
4.5.1.1 Вимоги безпеки праці під час роботи з вогнегасними порошками.....	110
4.5.1.2. Загальні принципи гасіння пожеж вогнегасними порошками.....	111
4.5.2. Заходи безпеки при роботі з магнієвими сплавами.....	112
4.6. Висновки до розділу .....	113
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	115
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	117
<b>ДОДАТКИ</b> .....	130
Додаток А. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи .....	131
Додаток Б. Технічні умови на вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-2» .....	137
Додаток В. Патенти... ..	146
Додаток Д. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	151

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВП – вогнегасник порошковий

ВПСП – вогнегасний порошок спеціального призначення

ЛЗР – легко займисті рідини

ГР – горючі рідини

НД – нормативні документи

ПУ – піноутворювачі

ОРС ЦЗ – оперативно-рятувальні підрозділи цивільного захисту



## ВСТУП

### **Актуальність теми.**

Використання магнію та його сплавів є практичним та ефективним у промисловості як в Україні, так і за її межами. Горіння магнію, алюмінію, титану та їх сплавів відносяться до пожеж класу D [1]. Пожежі цих металів розвиваються дуже швидко і при високих температурах.

Магній та алюміній і їх сплави часто використовують в апаратах космічної та авіаційної техніки, автомобілебудуванні, різних агрегатах і відповідальних приладах [2, 3]. Протягом майже ста років алюмінієві сплави застосовуються в будівництві будинків і офісних будівель

Алюмінієві порошки застосовують як компонент вибухових речовин, піротехнічних сумішей і твердого ракетного палива. Внаслідок реакції окиснення алюмінію виділяється велика кількість енергії, тому легкі речовини, які входять до складу вибухових речовин чи палива, нагріваються до високої температури. Практично загасити пожежі магнію і алюмінію дуже важко і при сучасних технологіях гасіння практично не можливо.

Магній, алюміній та їх сплави використовують у військовій галузі при виготовленні запалювальних гранат. Їх застосування зросло за останні роки на стадіонах, для світло шумових 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 і, тим самим, збільшуючи площу горіння, швидко займаються дерев'яні ящики з боєприпасами і ускладнюється процес гасіння. Тому виникає необхідність у застосуванні ефективних методів та способів гасіння такого класу пожеж. Збитки від таких пожеж сягають млрд гривень[2]. Пожеж одного класу D, як правило, не буває. Можуть виникати з початку пожежі класу D а потім А, В або навпаки пожежі ЛЗР або 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. В Україні не виготовляються порошки для гасіння пожеж класу D та A, B.

Отже, необхідно розробити рецептуру вогнегасного порошку та вдосконалити технологію гасіння комбінованих пожеж, зважаючи на особливості горіння магнію, алюмінію та їх сплавів.

### **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.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є вдосконалення технології гасіння комбінованих пожеж класу D та A, B з використанням вогнегасних порошків спеціального призначення та з використанням піни підвищеної стійкості.

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 комбінованих пожеж;
- розробити рецептуру вогнегасного порошку KM-2 для гасіння комбінованої пожежі D та B, A;
- розробити метод комбінованого гасіння пожеж класу A, B, D порошком KM-2 та піною підвищеної стійкості;

- запропонувати математичну модель теплового процесу під час гасіння металів вогнегасним порошком;
- створити методика розрахунку ізолювального шару при гасінні вогнегасними порошками ізолюючим способом;
- розробити рекомендації з гасіння комбінованих пожеж.

**Об’єкт досліджень** – процеси розвитку та припинення горіння комбінованих пожеж магнію та його сплавів та пожеж класу А, В.

**Предмет досліджень** – вплив виду та співвідношення компонентів вогнегасного порошку спеціального призначення на гасіння комбінованих пожеж, а також використання ВПСП і стійких пін для гасіння пожеж класу А, В, D.

**Методи дослідження.** В роботі було використано комплексний метод дослідження, який включає аналіз і узагальнення науково–технічних досягнень за напрямками: гасіння пожеж класу D, метод вогневих лабораторних та полігонних випробувань, комп’ютерне моделювання для дослідження насадок-заспокоювачів, методи планування експерименту, методи математичної статистики, метод моделювання теплового процесу у шарі вогнегасного порошку при гасінні ошурок магнію.

Для проведення експериментальних досліджень використовували метрологічне, атестоване обладнання та повірені засоби вимірювання. Результати теоретичних досліджень порівнювали 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 у вдосконаленні технології комбінованого гасіння пожеж класу D, А, В:

*уперше:*

- науково обґрунтовано і розроблено нову рецептуру вогнегасного порошку спеціального призначення з вмістом хлориду натрію (до 58 %, мас.),

шлаку металургійного виробництва (до 20 %, мас.) та гідрофобного аеросилу (до 1,5 %, мас.), амофосу (до 20,5 %);

– створена математична модель для визначення температури на не обігрівній стороні ізолювального шару вогнегасного порошку та інтенсивності гасіння на прикладі порошку спеціального призначення КМ-2 для гасіння пожеж класу D та A, B. На основі створеної моделі був визначений коефіцієнт тепловіддачі між не обігрівною стороною ізолювального шару вогнегасного порошку та навколишнім середовищем що становить  $\alpha = 395,733 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  і досліджена залежність ефективного коефіцієнта теплопровідності від товщини цього шару. Показано, що ця залежність близька до лінійної і може бути описана формулою  $\lambda(\delta) = - 0,016 + 93,907 \cdot \delta$ ;

– розроблено методику визначення необхідної кількості вогнегасного порошку для досягнення відповідного ізолювального ефекту і на основі цієї методики визначена мінімальна товщина шару цього вогнегасного порошку  $\delta = 45,2 \text{ мм}$ ;

*набула подальшого розвитку* технологія комбінованого гасіння пожеж класу D (гасіння магнію, алюмінію та їх сплавів) та A, B вогнегасними порошками спеціального призначення та пінами підвищеної стійкості.

**Практичне значення одержаних результатів.** Вдосконалена технологія гасіння комбінованих пожеж класу D та A, B. 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 позитивні відгуки. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі ЛДУБЖД при викладанні дисциплін «Тактика пожежогасіння та рятувальних робіт», «Пожежна техніка» та «Охорона праці в підрозділах ДСНС», «Пожежна тактика», на

ТзОВ НВП «Вогнеборець» при розробці та виготовленні насадки-заспокоювача, вогнегасного порошку для гасіння пожеж класу D, Подано 3 патенти України на винахід: «Вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-1»; «Заспокоювач для подавання вогнегасного порошку при гасінні пожеж класу D1». Вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-2».

**Особистий внесок здобувача** полягає в самостійному аналізі літературних джерел, формулюванні мети і завдань досліджень, обґрунтуванні методології та виборі методик, у плануванні і безпосередньому проведенні лабораторних та полігонних випробувань з узагальненням одержаних результатів. Особистий внесок у наукових працях, опублікованих за співавторства, відображено в дисертації, зокрема:

[1] – формував пропозиції до використання вогнегасних пін;

[2, 10] – визначив проблему дослідження, проаналізував відомі методи і способи гасіння магнію та його сплавів, провів дослідження за запропонованою методикою;

[3] – провів випробування нової насадки-заспокоювача;

[4, 9] – провів теоретичне і експериментальне дослідження процесу гасіння комбінованих пожеж, брав участь у розробці вогнегасного порошку. дослідив складники вогнегасних порошоків на основі хлориду натрію з добавкою меленого шлаку амофосу та аеросилу і встановив оптимальний склад вогнегасної суміші у відсотковому відношенні для гасіння пожеж легких металів на прикладі магнію та його сплавів;

[5] – запропонував математичну модель, яка описує теплові процеси під час гасіння легких металів вогнегасним порошком. Взяв участь у проведенні дослідів та у формуванні висновків;

[6, 7, 8] – брав участь у формуванні висновків з використання екологічно прийнятних вогнегасних порошоків, апробації методик досліджень.

Співавтори вказаних робіт за даними дослідженнями дисертації не захищали, а на спільно виконані роботи є посилання на джерело та відзначений особистий внесок. Всі основні результати дисертаційного дослідження отримані автором самостійно. Керівник роботи і здобувач спільно сформулювали задачі та загальні висновки.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 4 міжнародних науково–практичних та науково–технічних конференціях, зокрема: Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи : Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 14 вересня 2018 р.; XIV Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності (2019р.); 21 Всеукраїнська науково-практична конференція (з міжнародною участю) Технології захисту ПожТех-2019, Київ; Всеукраїнська конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист», Черкаси, 2020 р.

**Публікації.** Основні результати досліджень опубліковані у 10 наукових працях, із них 5 – у фахових наукових виданнях (з них дві входять в базу Scopus), 4 – у збірниках матеріалів науково-практичних конференцій, 1 патент на корисну модель.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з титульного аркуша, анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних джерел із 119 найменувань, 4 додатків. Загальний об'єм дисертації складає 153 с. та включає 20 рис., 15 табл.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСУ D та А, В ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для гасіння легких металів потрібно застосовувати відповідні вогнегасні речовини та засоби їх подавання. В роботі ми розглядаємо пожежі класу D за наявності магнію, алюмінію, титану. Перебіг цих пожеж практично однаковий.

Результати досліджень з гасіння пожеж класу D вогнегасними порошками спеціального призначення та відображені у [2, 3, 5-12]. В усіх випадках дослідники прийшли до висновку, що до складу спеціальних порошків повинні входити NaCl, KCl. Наповнювачами виступають мелений пісок, шлак, зола, сполуки меламіну, графіт, каолінова глина.

Дослідженню процесів припинення горіння пожеж класу D та розробці відповідних вогнегасних речовин присвячені роботи Антонова А.В., Баратова А.М., Вайсмана М.Н., Габрієляна С.Г., Тропінова О.Г., Апановича В.М., Жартовського В.М., Пашковського П.С., Костенко В.К., Ковалишина В.В., Марича В.М., Дунюшкіна В.О., Демиденка О.Г., Білошицького М.В., Мошковського М.С., Копильного М.І., Nelson, R., Kang et al H., Schmalfuß H., Schlüsselmayr 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 недостатньо наукових публікацій щодо рецептур вогнегасного порошку та його подачі під час гасіння пожеж класу D магнію та його сплавів.

### 1.1. Аналіз пожеж магнію, алюмінію та їх сплавів

Проаналізуємо деякі пожежі відомі в Україні та світі спричинені наявністю сплавів магнію та алюмінію.

В жовтні 2006 року виникла пожежа магнієвих ошурок в контейнері для збору металевих відходів на колишній території Львівського автобусного заводу. Причина пожежі – займання контейнера з магнієвими ошурками. Гасіння пожежі тривало кілька годин, оскільки магній не можна гасити водою, а ті засоби, що були, не дали змоги зробити це швидко. Працівники МНС змушені були гасити магнієві ошурки повітряно-механічною піною та іншими, на їх погляд, безпечними засобами [17].

В 2009 році сталася пожежа на станції зі зберігання отрутохімікатів «Отрадное», Джанкойського р-ну. В результаті пожежі згоріло близько 160 тонн отрутохімікатів. З 60-70 років минулого століття на цій станції зберігалися пестициди, у складі яких був магній. За однією з версій, саме він став причиною samozagorannya отрутохімікатів [18].

В 2010 році на заводі "Київприлад", 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. Повилітали шибки в цеху з першого по четвертий поверх [19, 20].

На ВАТ «Запоріжсталь», 2009 року 2 січня сталася пожежа у цеху холодного прокату №1, вигорів весь алюміній. На заводі «Зеніт» в Донецьку 2019р., сталась пожежа де згоріли алюмінієві деталі на мільйони гривень.

30 березня 1988 року в Чикаго вибухнув причіп, який 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 [21].

У 2011 році на узбережжі Північної Кароліни горів автомобіль (рис. 1.1). 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 1.1 – Вибух під час горіння автомобіля на узбережжі Північної Кароліни

Подібні інциденти, пов'язані з горінням магнію траплялися часто в США. Пожежники повинні були змінити тактику роботи з подібними пожежами, щоб зберегти своїх працівників. Магній, як правило, використовується лише в старих двигунах Volkswagen і Ford F150. Але зараз BMW, Ford, Mercedes, GMC, Ауді, Ягуар та інші будуть додавати магній до

деталей нових автомобілей. В сучасному світі магній можна знайти у всіх транспортних засобах, побутовій та сільськогосподарській техніці [21].

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. Товсті хмари диму можна було побачити здалеку над заводом BMW опівдні. Через сильний дим населенню рекомендували закрити вікна та двері.



Рисунок 1.2 – Пожежа в місті Ландсхуті на заводі автоконцерну BMW

Пожежа також вплинула на залізничний рух, була закрита ділянка залізниці між Вьор-ан-дер-Ізаром і Ландсхутом більше ніж на годину. Експерти BMW оцінили збиток приблизно в два мільйони євро [22, 23].

В липні 2018 року до Служби порятунку м. Дунаївці надійшло повідомлення про пожежу автомобіля. За викликом на місце пожежі одразу було направлено чергове відділення 12-ї державної пожежно-рятувальної частини Головного управління ДСНС України у Хмельницькій області. По прибуттю на місце події вогнеборці встановили, що об'єктом пожежі є

легковий автомобіль ЗАЗ 968 м. Рятувальники впорались із загоранням, однак вогонь встиг знищити салон автівки та пошкодив відсік двигуна. Як стало відомо причиною пожежі стало загорання деталей які виготовлені з сплаву магнію і алюмінію.



Рисунок 1.3 – Наслідки пожежі в м. Дунаївці спричинені горінням сплаву магнію і алюмінію

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 загорання на виробничому складі, де горіло 40 тонн магнію і алюмінію (рис. 1.4). В результаті цієї пожежі постраждала одна людина [24].

2 жовтня 2015 року на заводі PolMag в Республіці Польща понад 20 пожежників гасили 47 тонн палаючого магнію. На першому етапі розплавлений магнієвий сплав, намагалися загасити, але безуспішно. Не вистачало вогнегасних речовин і засобів їх подавання[15].

Пожежа магнію завдала збитків на мільйони євро у місті Зоненберг (Німеччина) 2010 році [16]. Горіло 30 тонн магнію. Не було ефективних

засобів первинного пожежогасіння пожеж класу D, до локалізації і ліквідації пожежі приступили не вчасно.



Рисунок 1.4 – Горіння магнію і алюмінію на виробничому складі в Іспанії

Небезпечними є також пожежі та вибухи на футбольних стадіонах. Один із випадків стався під час Європейського чемпіонату 2016 році гри Італії та Хорватії (рис. 1.5). У ході гри між уболівальниками розпочалися сутички, з використанням запалювальних пристроїв в яких були ошурки магнію. Як наслідок цього сталася пожежа з великою кількістю потерпілих. Гра була зупинена.



Рисунок 1.5 – Запалювальні пристрої на футбольному стадіоні [25]

Подібні пожежі, спричинені горінням та вибухом магнію і його сплавів частіше трапляються у процесі їх обробки та утилізації відходів [26-30].

Магній та його сплави часто використовують у військовій галузі при виготовленні запалювальних гранат. 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. Зафіксовано близько 50 точок загоряння [36].

Застосування запалювальних пристроїв 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.

## **1.2. Особливості використання сплавів магнію та алюмінію та їх небезпека**

Поширеними запалювальними речовинами на основі нафтопродуктів є напалми. Їх одержують шляхом добавки до рідкого пального, частіше всього бензину, спеціальних загусників. Напалм має здатність легко займатись і розвивати температуру до 1200 °С. Напалми 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 ошурки натрію, магнію, фосфору, а також алюмінію, вугілля, асфальту, селітри та інших речовин. Температура горіння пірогелів досягає 1600 °С. 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 °С. 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 °С, температура полум'я – 900-1200 °С. Білий фосфор використовують як запал напалму і пірогелю в запалювальних боєприпасах [31].

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.

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 [32-34].



Рисунок 1.6 – 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 тисячі осіб. У медичних установах в Ічні перебувала 91 особа, зокрема 1 дитина [35].

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 [36], пожежі класу D сприяли розвитку пожеж класу А, В.

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.

### **1.3. Особливості поводження з магнієвими сплавами, виникнення пожеж класу D та А, В**

Основні властивості магнію. Тверда речовина. Метал. Сріблясто-білого кольору. Нелеткий. Температура плавлення  $+651\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура кипіння  $+1107\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Бурхливо реагує з водою – виділяє горючі гази і велику кількість тепла. На повітрі здатний займатися, у вологому середовищі згоряє з вибухом. Температура горіння може сягати до  $+2800\text{ }^{\circ}\text{C}$  [63, 64]. Вибухо- та пожежонебезпечний. Горючий. Можливе самозаймання на повітрі. Температура самозаймання: компактного металу  $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ошурок  $+510\text{ }^{\circ}\text{C}$ , пилу  $+420\text{...}440\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Нижня концентраційна межа поширення  $10\text{...}20\text{ г/м}^3$ . Займається від іскор та полум'я. Горить в атмосфері діоксиду вуглецю. В атмосфері чистого сухого азоту магній займається. При температурі більше  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  пил магнію енергійно взаємодіє з азотом, виділяючи тепло. Тому атмосфера азоту не може вважатися інертною [63].

Особливості роботи з магнієвим пилом та ошурками є такі [65-71]:

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

2. 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.

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

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

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

Найчастіше горять магнієві ошурки або вироби з магнієвих сплавів, особливо в подрібненому стані. Для гасіння пожежі, де горить магній, використовувати воду не можна, оскільки від зіткнення з водою розпечений магній вибухає.

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 [72].

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

Для гасіння магнію та його сплавів використовуються такі вогнегасні речовини [45, 68, 69, 73-78]:

- 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 [79];

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

- засипання палаючого магнію сухим пилоподібним карналітом або піском

Згадані вогнегасні речовини випробовувались при гасінні невеликих загорянь в лабораторних умовах і не є технологічними при використанні. Вогнегасні порошки, які випускаються в Україні, не придатні для гасіння пожеж легких металів. Крім того при подачі під тиском порошку палаючі ошурки 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. Апробований для гасіння пожеж з наявністю магнію порошок КМ-1 [2, 117] виявився одним з кращих вогнегасних засобів.

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 [80], 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 °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.

Також слід звернути увагу на те, що чистих пожеж магнію та його сплавів немає. Як ми вже знаємо горіння магнію і його сплавів супроводжується вибухом, що призводить до розповсюдження площі горіння. Тоді стає питання комбінованої пожежі та комбінованого гасіння. Може пожежа класу А або В спричинити виникнення пожежі класу D. Для гасіння таких пожеж було б добре використати спеціальні ВПСП, але це не можливо із-за відсутності таких порошків або високу вартість закордонних аналогів.

#### **1.4. Характеристика порошків для гасіння пожеж класу D**

Пил магнієвих сплавів загоряється навіть від іскри і горіння має характер вибуху. Пил і ошурки магнію і його сплавів за наявності залишків мастила можуть самозагорятись. Ще більш небезпечним є вологий магнієвий пил, горіння якого протікає надзвичайно інтенсивно і також має характер вибуху [2].

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

При роботі з магнієм небезпечними є і пиловловлювальні установки з водяним зрошенням (водяними фільтрами). Магнієвий пил нагромаджується на поверхні води, а через незадовільну вентиляцію фільтрів в них можливе утворення вибухонебезпечної концентрації водню,

внаслідок взаємодії магнію з водою. Магній горить сліпучо-білим полум'ям при температурі 2200 °С. Після горіння утворюється порошок білого кольору – магній оксид.

На сьогодні для гасіння пожеж класу D найбільш поширені, ВПСП на основі хлоридів лужних металів (KCl – Росія, Україна і NaCl – Європа, США). В якості вогнегасних складів для металів існує ряд рідинних складів (наприклад, на основі борних ефірів), але вони не набули широкого застосування в практиці пожежогасіння [43].

Єдиним типом вогнегасника класу D є вогнегасник який виробляється в штаті Алабама США, суміш вогнегасного порошку представляє собою порошкоподібний графіт, гранульований хлорид натрію, дана суміш порошку виконує гасіння шляхом ізоляції тобто перекриває доступ кисню і припиняє горіння.

Також порошок для гасіння пожеж класу D виготовляє Швецька компанія Dafo Fomtec AB їхній порошок складається з хлориду натрію, хлориду калію і сульфату барію.

Основним принципом досягнення позитивного результату при гасінні металовмісних речовин є створення за допомогою ВПСП захисного повного покриття вогнища горіння, що перешкоджає доступу кисню повітря в зону горіння 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 (кг/м<sup>2</sup>).

Порошок ПС-1 має добру текучість і високу вогнегасну ефективність. До осередку горіння його подають стиснутим повітрям або азотом. Азот широко використовується у вибухонебезпечних технологічних процесах для створення в апаратах і транспортних трубопроводах інертного середовища. Як вогнегасна речовина він застосовується для гасіння натрію, калію, берилію і кальцію. Але для гасіння металів, які у сполуках нітриди, з вибуховими властивостями і чутливістю до удару, його застосовувати не

можна. До числа таких металів належать: магній, алюміній, літій, цирконій і деякі інші. Для гасіння цих металів застосовують аргон. Метал, який горить, засипають рівномірним шаром порошку із спеціальних насадок-заспокоювачів. Шар порошку на поверхні палаючого металу утворює щільну кірку, яка ізолює його від кисню повітря і не дає розповсюджуватись вогню. Як недолік - порошок не має достатньої щільності та термостійкості, що сприяє його прогоранню [44].

Відомі способи гасіння металів шляхом обробки осередку пожежі вогнегасним засобом. В якості вогнегасних засобів відомі вогнегасні порошки на основі карбонату натрію (склад ПС ОСТ 6-18-175 -76 з вогнегасною здатністю 30-40 кг/м<sup>2</sup> палаючої поверхні), хлоридів калію і натрію (склад ПГС ТУ 18-18.0-78 з вогнегасною здатністю 25-30 кг/м<sup>2</sup>, склад ПХ ТУ 6-18-12.0-78 з вогнегасною здатністю 30-40 кг/м<sup>2</sup>), окису алюмінію (глинозем ГОСТ 6912-74 з вогнегасною здатністю 50 кг/м<sup>2</sup>) [45].

Обробка вогнища пожежі цими складами забезпечує припинення горіння шляхом ізоляції поверхні металу від навколишнього повітря. Вибір компонентів вогнегасного засобу здійснюється виходячи з умови відсутності хімічних реакцій з палаючим металом. Зазначені порошкові засоби гасіння мають недолік, що полягає у необхідності великої (від 25 до 50 кг/м<sup>2</sup>) їх витрати на гасіння палаючої поверхні, оскільки при менших витратах тонкі шари цих порошкових складів не забезпечують формування ефективної газонепроникної кірки мають недостатню щільність.

Відомий спосіб гасіння палаючих металів шляхом обробки осередку пожежі вогнегасним засобом, в якому використовується терморозширений графіт або його комплекси, що розкладаються при температурі горіння з виділенням терморозширеного графіту [46].

Цей засіб забезпечує ізоляцію поверхні палаючого металу при мінімальних витратах, проте технологія його отримання має високу собівартість та при горінні великої кількості легких металів (більше 1кг) прогорає і зноситься з поверхні горіння тепловими потоками.

Відомий "Способ предотвращения воспламенения металлических порошков" [8], згідно з яким в якості вогнегасного засобу використовують порошок з суміші оксиду бору (95-50 мас. %) та високотемпературної добавки, вибраної з ряду оксидів алюмінію, магнію, титану, кремнію. Цей склад ефективніший від відомих серійних складів, оскільки при нагріванні суміші її легкоплавкий компонент (оксид бору має температуру плавлення  $\sim 450$  °C), розплавляючись, формує газонепроникний шар, частинки оксиду в якому відіграють армуючу роль. Вогнегасна здатність такого складу вища, ніж у серійних вогнегасних порошків, але при горінні великих кількостей магнію швидко прогорає.

На відміну від відомого способу [47], в якому використовується вогнегасний засіб, що складається з суміші оксиду бору з високотемпературною добавкою, взятою в кількості 5-50 мас. %, в пропонованому способі використовується вогнегасний засіб, що складається з суміші ціанурату меламіну в кількості 10-60 мас. % з високотемпературною добавкою, взятою з ряду: оксидів (алюмінію, магнію, титану, кремнію), хлоридів (магнію, натрію, калію), нітридів (бору, алюмінію, кремнію), графіту. При гасінні металів із застосуванням запропонованого способу на поверхню, що горить наноситься вогнегасний склад, який формує ефективну ізолюючу поверхню завдяки розплавленню і розкладанню ціанурату меламіну (розкладання –  $380-420$  °C) на аміак, вуглекислий газ і мелем, який в свою чергу при температурі  $\sim 450$  °C розкладається на аміак і мелон, причому останній при температурах понад  $600$  °C також виділяє аміак і утворює негорючий обвуглений вуглецевий залишок (кокс). Всі реакції розкладання йдуть з поглинанням тепла, що призводить до додаткового охолодження поверхні горіння. Утворені в зоні контакту вогнегасного складу з поверхнею горіння аміак і вуглекислий газ ізолюють поверхню горіння від надходження кисню повітря, чим збільшують ефективність вогнегасної дії шару, який формується з високотемпературної добавки і розплавлених продуктів розкладання ціанурату меламіну.

Газоподібні продукти розкладання ціанурату меламіну, в разі виникнення тріщин в ізолюючому шарі і надходження через ці тріщини навколишнього повітря в зону горіння, заповнюють ці тріщини і перешкоджають проникненню туди кисню повітря. У разі, якщо температура аміаку, що виходить з ізолюючого шару, перевищує температуру його займання ( $t_{cz} - 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), аміак горить в повітрі з утворенням азоту і водяної пари, додатково зменшуючи концентрацію кисню в повітрі поблизу зони горіння. Вказані позитивні моменти в патенті не враховують специфіки гасіння магнію, оскільки аміак і вуглекислий газ сприяють його горінню. На практиці ці вогнегасні речовини для гасіння магнію не можуть бути використані.

Вогнегасний порошковий склад, в якому основним компонентом є хлорид калію (79 %), а в якості цільових добавок для плинності використовуються: мусковит (20 %), високодисперсна добавка (0,8 %) і гідрофобізуюча рідина Петрос-2М (0,2 %) [48], має здатність для гасіння пожеж класу D1.

Відомо, що при гасінні пожеж класу D1 використовуються спеціальні порошки вогнегасних складів ПГС-3 і ПГС-М ТУ 6-46-016-92 та ТУ 6-18- 42-86 відповідно, в яких в якості основного компонента використовується сильвініт (суміш хлориду калію і хлориду натрію) в кількості 72,0-90,6% і 87,5%-98,5% відповідно.

Найбільш близьким за складом і призначенням є вогнегасний порошок, що містить, мас. %: біла сажа 3,5-5,0; алкілгалоїдсіланова рідина – метилтрихлорсилан 0,5-1,2; хлорид калію 93,8-96,0. Порошок використовують для гасіння пожеж класів А2, В, С, D, Е [49].

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



Загальним недоліком вищеописаних складів порошків, є низька питома щільність, що негативно впливає на їхню плинність (висока плинність порошку необхідна для створення оптимальної концентрації вогнегасного засобу за одиницю часу в зоні горіння). Чим нижча питома щільність порошку, тим більша його кількість відноситься з зони горіння висхідними потоками гарячого повітря, так і не взявши участі в процесі гасіння. Крім того, чим вища питома щільність порошку, тим більша дальність викиду його з вогнегасника, що дає можливість операторові знаходитися на більшій відстані від вогнища горіння, ніж при застосуванні порошку з більш низькою питомою щільністю.

Питання гасіння пожеж металів в науковій літературі розглядається з різних сторін. Одна частина робіт спрямована на вивчення характеристик горіння металів при різних умовах інша на гасіння та обмеження розповсюдження.

В роботі [50] досліджували горіння рідкого натрію з метою отримання більш глибокого розуміння характеристик як процесу горіння так і гасіння вогнегасним порошком. В результаті проведеного дослідження автори доводять, що гасіння рідкого натрію на початковій стадії більш ефективно через менше нагрівання нижніх шарів.

Небезпека самозаймання шарів металевих порошкових сумішей розглядалася в роботі [51]. В статі розглядається характеристики займання відкладень порошків металів, зокрема сумішей цирконію і танталу з метою підтвердження раніше запропонованої двохмірної моделі.

Горіння сумішей бору та алюмінію досліджувалося в [52]. Авторами розроблена модель для дослідження швидкості вигорання суміші бору та алюмінію в залежності від розміру часток та концентрації. Запропонована модель показала зменшення швидкості горіння суміші і збільшення необхідної енергії запалювання при збільшенні масової частки бору.

Особливості горіння та вибору вогнегасних речовин для гасіння металів розглядалося в [53]. В роботі зазначається, що для гасіння пожеж

класу «D» не можуть бути використані такі вогнегасні речовини як вода, вуглекислий газ, звичайний вогнегасний порошок. Для гасіння конкретного виду металу необхідно застосовувати відповідну суху вогнегасну речовину. В роботі [54] аналізували можливість використання відомих вогнегасних речовин для припинення горіння різних металів.

Мінімізація наслідків вибухів горіння пило повітряних сумішей металів досліджувалася в [55]. Доведено, що пригнічення дефлаграційного горіння пилу алюмінію можливе навіть у великих об'ємах.

В роботі [56] досліджувалися інгібуючі властивості вогнегасного порошку марки «ABC» під час гасіння алюмінієвого пилу. Показано, що інгібуючі властивості посилювалися із зменшенням розміру частинок вогнегасного порошку.

Відома вогнегасна речовина на основі вермикуліту [57], яка може бути використана для гасіння пожеж кількох класів, в тому числі класу «D».

Як правило чистих пожеж класу D не трапляється. З початку горить магній або його сполуки, а потім горять тверді горючі речовини або горючі рідини тобто відбуваються пожежі класу А, В. За певних умов такі пожежі можуть супроводжуватися вибухами. Аспекти захисту від вибухів на об'єктах будівництва докладно розглянуті у роботах [58, 59].

Для гасіння чистих пожеж класу D розроблений порошок КМ-1, ПХК, Засіб SUPER D, (на основі хлориду натрію), Ansul Met-L-X Class D, D Favorit M.

Порошок ПХК призначений для гасіння загорань алюмінію, магнію і інших легких металів і їх сплавів [60].

Вогнегасники Amerex Model B570 заправляються порошком SUPER D. Та можуть гасити пожежі, що містять магнієві сплави, уран та порошковий алюміній [61].

Ansul Met-L-X Class D порошок для вогнегасника, який гасить пожежі літію, магнію, натрію та калію. Він в деяких випадках буде повністю гасити пожежі цирконію, титану та натрієво-калієвого сплаву [62].

Але всі ці порошки не є комбінованої дії і не використовуються для гасіння пожеж класу А, В.

Тому розробка ефективних вогнегасних порошоків та засобів пожежогасіння для гасіння пожеж D, А, В є актуальною науково-технічною задачею. Інтенсивність подавання вогнегасного порошку треба визначати для конкретного порошку.

### **1.5. Аналіз використання піноутворювачів для гасіння пожеж ЛЗР та ГР**

Вогнегасна ефективність піни, що утворюється з робочих розчинів піноутворювачів, залежить від багатьох факторів, зокрема, від природи ПАР піноутворювача, наявності та природи модифікуючих добавок, а також кратності і стійкості піни. Як відомо, піноутворювачі загального призначення можуть використовуватись для отримання піни низької, середньої та високої кратності.

Піною називають плівкову чарункову структуру системи типу «газ - рідина», яка характеризується кратністю і стійкістю. Кратністю називають відношення об'єму піни до об'єму водного розчину, з якого її отримано. Під стійкістю піни розуміють її здатність до зберігання своєї структури протягом проміжку часу. Розрізняють піни низької (не більше 20), середньої (від 21 до 200) і високої (понад 200) кратності. Для отримання кожного виду пін використовують спеціальне пожежне обладнання. Піноутворювачі загального призначення зазвичай застосовують для отримання пін середньої кратності, оскільки піни низької кратності, що утворюються з їх робочих розчинів, у більшості випадків менш ефективні під час гасіння горючих (легкозаймистих) рідин. Піни середньої кратності застосовуються для гасіння пожеж шляхом їх подавання як на поверхню, що горить (гасіння поверхневим способом), так і в об'єм приміщення, де виникла пожежа (гасіння об'ємним способом). Для гасіння об'ємним способом

використовують також піни високої кратності, що утворюються з робочих розчинів піноутворювачів.

Плівкоутворювальні піноутворювачі спеціального призначення, як правило, найбільш ефективні у разі їх застосування з обладнанням, призначеним для генерування піни низької кратності. Це пояснюється дуже легко: гасіння пінами низької чи середньої кратності, що утворюються з робочих розчинів піноутворювачів загального призначення, настає після того, як на поверхні рідини накопичиться шар піни, товщина якого достатня для зниження концентрації горючих парів над поверхнею до значень, за яких горіння неможливе, у той час як гасіння пінами низької кратності, що утворюються з робочих розчинів плівкоутворювальних піноутворювачів, настає в основному за рахунок охолодження поверхні рідиною, що виділяється під час руйнування піни на поверхні горючої (легкозаймистої) рідини і зниження швидкості дифузії парів рідини завдяки утворенню тонкої плівки на її поверхні. У разі подавання на поверхню рідини піни середньої кратності, отриманої з робочого розчину плівкоутворювального піноутворювача, утворення захисної плівки також можливе, але її стійкість менше, ніж у разі утворення плівки з піни низької кратності. Крім високої вогнегасної ефективності, піна низької кратності має ще одну суттєву перевагу - її можна за необхідності подавати на декілька десятків метрів, у той час як стандартні генератори піни середньої кратності здатні подавати піну не далі ніж на 5-6 м. Можливість подавання піни на великі відстані найбільш важлива у тих випадках, коли важко підібратися до осередку пожежі або перебування у безпосередній близькості до нього небезпечно. Характерним прикладом є застосування піни низької кратності для гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти і нафтопродуктів [99, 100].

Під час гасіння пожеж найчастіше використовують піну середньої кратності, рідше - піну низької кратності. Піну високої кратності застосовують для гасіння пожеж об'ємним способом. Вогнегасна ефективність піни низької кратності у 2-5 разів нижча за вогнегасну ефективність піни середньої

кратності. Однак піна низької кратності може подаватися на більші відстані і має більш високу здатність до розтікання, ніж піна середньої кратності, у багатьох випадках доцільніше використовувати саме піну низької кратності. Нижча ефективність піни низької кратності зумовлює необхідність збільшення інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння піною низької кратності порівняно з випадком гасіння піною середньої кратності [101].

В наш час на ринку України можна знайти наступні піноутворювачі:

Піноутворювачі загального призначення:

- "Пірена-1", "Пірена-2", "Пірена-3", "Пірена-4" (ТОВ НВП "Пірена"), що виробляються згідно з ТУ У 24.6-20166240-002:2010 Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж типу "Пірена". Піноутворювачі "Пірена-1", "Пірена-2", "Пірена-3" відрізняються морозостійкістю (температура застигання не вище ніж  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , відповідно). Піноутворювач "Пірена-4" відрізняється підвищеними показниками кратності і стійкості піни середньої кратності;

- "Барс S1m", "Барс S1", "Барс S2", "Барс S3 морозостійкий" (ТзОВ НВП "Вогнеборець"), Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж типу "Барс" відрізняються морозостійкістю (температура застигання  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Піноутворювач "Барс S2" відрізняється підвищеними показниками кратності і стійкості піни середньої кратності та вогнегасною здатністю. Піноутворювач "Барс S3" відрізняється підвищеною температурою застигання.

- "Софір" (ТОВ "Союз ЛТД"), "Альпен" (ТОВ "Альхім"), що виробляється згідно з ТУ У 24.6-32740136-001:2006 Піноутворювач загального призначення для гасіння пожеж "Альпен". Піноутворювач спеціального призначення для гасіння пожеж з використанням морської води "Альпен-М", що виробляється згідно з ТУ У 24.6-32740136-002:2012 «Піноутворювач спеціального призначення для гасіння пожеж "Альпен-М»;

- "ПО-6Б", "ПО-3Б" (ПП "Бар'єр"), що виробляються згідно з ТУ У

24.6-21859815-002-2004 Піноутворювач "ПО-6Б" та ТУ У 24.6-21859815-003-2004 Піноутворювач "ПО-3Б";

- "Sthamex f-15" ("Dr. Sthamer", Німеччина);
- Pyrocool В 6 % (фірма "Orchidee International GmbH", Німеччина) та ін.

Складові піноутворювачів спеціального призначення розробляються таким чином, щоб надати їм бажаних та необхідних властивостей. Це може бути підвищена стійкість піни до зневоднювання, зниження швидкості її руйнування під дією неполярних і (або) полярних рідин чи теплового випромінювання полум'я та нагрітих металевих конструкцій, підвищення морозостійкості, забезпечення придатності до застосування з морською водою, можливість утворення плівки на поверхні горючих (легкозаймистих) рідин тощо.

За призначенням піноутворювачі розрізняють:

- загального призначення;
- цільового призначення;
- плівкоутворювальні;

За структурою піни поділяються на високодисперсні і грубодисперсні.

Під стійкістю піни розуміють її здатність зберігати параметри вихідної структури. Кількість стійкості піни визначають часом, протягом якого з піни виділяється певна кількість рідини, з якої вона отримана. Відомо, що стійкість піни залежить від виду піноутворювача, його концентрації в розчині, від структури і кратності піни.

Розрізняють такі показники, що характеризують стійкість піни:

- стійкість обсягу піни-характеризується часом руйнування 25% від початкового об'єму;
- стійкість до зневоднення (синерезису) – характеризується часом виділення з піни 50% рідини ();
- стійкість структурна- характеризується часом зміни середнього діаметру бульбашок на 25% від вихідної величини;

- контактна стійкість на поверхні полярних ГР - характеризується часом повного руйнування піни;
- термічна стійкість – характеризується часом руйнування всього обсягу піни під дією теплового потоку від факела полум'я;
- стійкість ізолюючої дії-характерується часом, протягом якого шар піни певної товщини перешкоджає запаленню рідини відкритим джерелом полум'я [101, 120].

Причиною контактного теплового руйнування піни є втрата поверхневої активності молекул ПАР при високій температурі розчину в плівках піни. При контакті піни з органічними водорозчинними горючими рідинами в каналах піни утворюється змішаний розчин, в якому молекули піноутворювача добре розчинені і не утворюють міцели, оскільки розчини є істинними і молекули не адсорбуються на межі "розчин-повітря".

У середовищі з нормальною температурою характер і швидкість руйнування піни істотно відрізняються від процесу її руйнування при гасінні полум'я. Швидкість руйнування піни при температурному впливі значно вище, так як вона проходить через нагріті гази продуктів горіння і стикається з розпеченими конструкціями. Піну руйнують фізико-хімічні процеси, що виникають при зіткненні піни з рідиною, що горить. Таким чином, фактори, що визначають стійкість піни під час гасіння полум'я, настільки численні і різноманітні, що врахувати їх практично неможливо. Це пояснюється відсутністю методик визначення стійкості піни, що враховують реальні умови гасіння.

Стійкість піни, яка визначається різними способами, не є мірою вогнегасної ефективності. Для того, щоб піна погасила полум'я, вона повинна покрити поверхню, що горить шаром певної товщини і якийсь час перебувати на поверхні рідини, не руйнуючись. Це означає, що вона повинна бути досить стійкою.

Важливою вогнегасною характеристикою піни є її кратність, що визначається відношенням об'єму піни до об'єму рідини, з якого вона отримана:

$$K = V_n / V_p, \quad (1.1)$$

де  $V_n$  – об'єм піни;

$V_p$  – об'єм рідини

Одною з основних властивостей, які характеризують піну поряд з кратністю і стійкістю, є ізолююча стійкість. Особливе значення має ізолююча здатність піни при гасінні полум'я ЛЗР і ГР. Ізолюючі властивості піни визначаються її здатністю перешкоджати випаровуванню горючої рідини, яку вона покриває. Чисельно ізолююча здатність виражається часом, протягом якого пари рідини проходять через шар піни певної товщини і утворюють над ним пароповітряну суміш, здатну запалитися від джерела запалювання [102].

Стійкість піни до зневоднення визначає її ізолюючу дію, яке виражається в зниженні швидкості надходження парів горючих в зону горіння. Чим більше піна втрачає рідини, тим товщі стають її плівки, менше перешкоджають випаровуванню горючої рідини. Швидкість синерезиса визначається ефективним діаметром пінних каналів, висотою шару піни і рухливістю поверхні пінних каналів. Якщо стінки каналів жорсткі, то витікання рідини буде визначатися в'язкістю розчину. При рухомих стінках відбувається спільний рух розчину і каналу, що помітно знижує стійкість піни. Рухливість стінок каналів визначається природою поверхнево-активних речовин, що містяться в піноутворювачі.

Додавання до піноутворювачів з'єднань, здатних забезпечувати високу міцність адсорбційного шару і надавати нерухомість поверхні каналів, різко знижує швидкість течії рідини і уповільнює процес синерезиса піни.



Для отримання піни використовують піноутворювачі, що представляють собою багатокомпонентні суміші хімічних сполук, що містять ПАР та інші стабілізатори, що забезпечують, термічну і гідростатичну стійкість піни, низьку температуру замерзання пінного концентрату, а також інгібітори корозії і речовини, що забезпечують сумісність всіх компонентів піноутворювача. Робочі розчини, з яких безпосередньо утворюють піну в піногенераторах, містять 3..6% об. піноутворювача, тобто 1-2% мас поверхнево-активної речовини (ПАР).

Як правило пожеж одного класу D, не буває. При великих масштабах пожеж є необхідність ізолювати горючі матеріали від магнію. При нанесенні порошку на поверхню магнію, утворюється ізолюючий шар, з температурою на поверхні порошку від 70 до 200 °С залежно від товщини шару порошку. Необхідно провести дослідження з впливу піни на порошок, який накрив поверхню магнію. Після нанесення шару порошку на горючі ошурки і горючі матеріали нанести піну. Піна повинна ізолювати горючий матеріал від зони горіння, зменшити дію променевої енергії на горючі матеріали, загасити пожежі класу А і В. Для того, щоб ефективно гасити комбіновані пожежі класу А, В, D треба підібрати піноутворювачі з хорошими вогнегасними і термостійкими властивостями, які б можна було наносити на поверхню порошків і на горючі матеріали.

### **1.6. Мета і завдання досліджень**

**Мета і завдання досліджень.** Метою роботи є вдосконалення гасіння комбінованих пожеж класу D та А, В з використанням вогнегасних порошків спеціального призначення та з використанням піни підвищеної стійкості.

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

- провести аналіз сучасного стану розроблення і застосування вогнегасних порошоків для гасіння пожеж класу D і виявити шляхи підвищення ефективності пожежогасіння магнію та його сплавів;
  - розробити рецептуру вогнегасного порошка КМ-2 для гасіння комбінованої пожежі класу D та B, A;
  - розробити метод комбінованого гасіння пожеж класу A, B, D порошком КМ-2 та піною підвищеної стійкості;
  - запропонувати математичну модель теплового процесу під час гасіння металів вогнегасним порошком;
  - створити методику розрахунку ізолюючого шару при гасінні вогнегасними порошками ізолюючим способом;
  - розробити рекомендації з гасіння комбінованих пожеж.
- Результати досліджень опубліковано в працях [3, 86, 113, 117].

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСУ D, A, B

#### 2.1. Особливості дослідження вогнегасних порошоків комбінованої дії

Пожежі тільки класу D, як правило, не трапляються і переростають в пожежі інших класів. Про це свідчать пожежі на військових складах у Запорізькій області, та на багатьох інших об'єктах [2, 3, 17, 83, 113]. Можуть виникати спочатку пожежі легких металів, а потім загорітись горючий матеріал тари, автомобілі, обладнання, легкозаймисті горючі речовини або навпаки: твердих, горючих матеріалів, ЛЗР, а потім пожежі легких металів, які потребують комбінованих способів гасіння, при цьому треба враховувати високу температуру горіння магнію. Плавиться магній при температурі 651 °С, але у звичайних умовах розплавити його досить важко: нагрітий на повітрі до 550 °С він спалахує і миттєво згорає сліпучо-яскравим полум'ям. При горінні магнію температура може зростати до 2800 °С. Смужку магнієвої фольги легко підпалити звичайним сірником, а в атмосфері хлору магній самозаймається навіть при кімнатній температурі. При горінні магнію виділяється велика кількість ультрафіолетових променів і тепла – щоб нагріти склянку крижаної води до кипіння, потрібно спалити всього 4 г магнію [2, 17]. При подаванні вогнегасної речовини під високим тиском легкі метали та їх сплави розбризкуються і збільшують площу горіння.

Необхідно розробити технологію гасіння пожеж класу А, В, D:

- вогнегасними порошками, які б могли гасити комбіновані пожежі зважаючи на особливості горіння легких металів;
- використання технології комбінованого гасіння з використанням D - порошоків та піни підвищеної стійкості.

При гасінні вогнегасними порошками спостерігається розпорошення порошку в об'ємі. А при горінні сплавів легких металів, в тому числі і

магнію, необхідно поверхню горіння вкрити вогнегасним порошком, тим самим ізолюючи горючий метал, і не дати розповсюдитись горінню по площі. В попередніх дослідженнях була розроблена рецептура порошку КМ-1, розрахованого в основному на гасіння пожеж класу D. Ми розробили рецептуру нового порошку для гасіння пожеж класу D, А, В. Випробування порошку проводимо за запропонованою нами методикою [5].

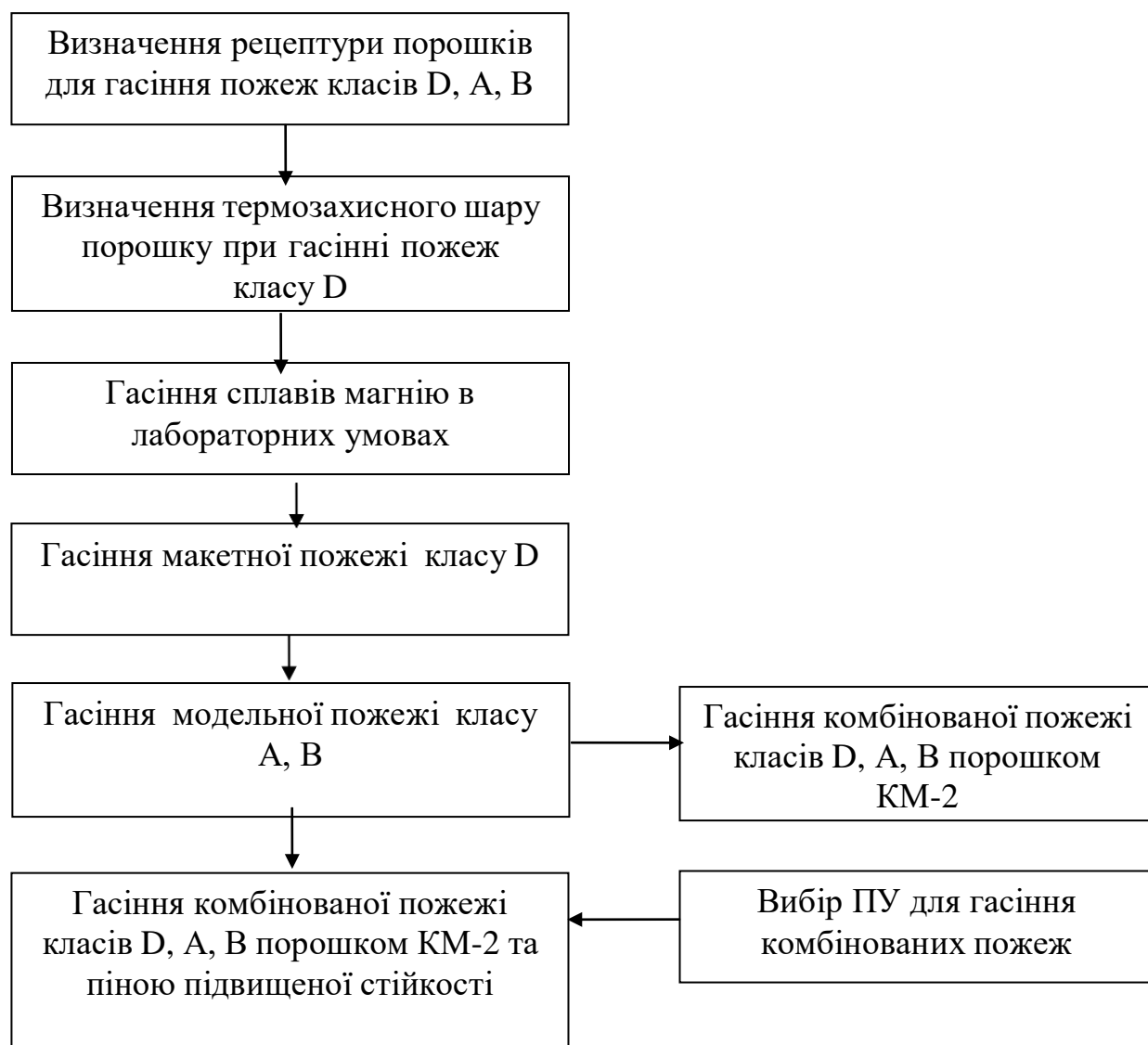


Рисунок 2.1 – Алгоритм дослідження

При горінні магнію та його сплавів температура може зростати до понад 2000 °С. Тому деко для насипання ошурок сплаву магнію має бути з

термостійкого матеріалу. Ошурки магнію важко підпалити, для цього використаємо газовий пальник.

Алгоритм дослідження та розробки технології вказаний на рис. 2.1.

КМ-2 відноситься до вогнегасних порошків спеціального призначення (ВПСП) і може бути використаний для гасіння пожеж класу D – легких металів (магній, алюміній та їх сплави) та пожеж класів А, В, електроустановок під напругою в приміщеннях різного призначення та на відкритому просторі.

Основним принципом гасіння легких металів і їх сплавів є створення за допомогою ВПСП захисного повного покриття вогнища горіння, що перешкоджає доступу кисню в зону горіння і не дає розповсюджуватись горінню. Покриття має бути досить щільним, мати необхідну товщину шару порошку по всій поверхні горіння, що досягається при певній питомій витраті порошку ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ).

Загальним недоліком описаних складів порошків, є низька питома щільність, що негативно впливає на їхню плинність (висока плинність порошку необхідна для створення оптимальної концентрації вогнегасного засобу за одиницю часу в зоні горіння). Чим нижча питома щільність порошку, тим більшу його кількість винесуть з зони горіння висхідні потоки гарячого повітря і вона не буде задіяна в процесі гасіння.

На основі проведеного аналізу авторських свідоцтв та патентів робимо висновок, що гасіння магнію потребує нових вогнегасних складів.

В основу винаходу поставлено завдання розробити ефективніший в гасінні та прийнятний за ціною вогнегасний порошок спеціального призначення на основі комплексу  $\text{NaCl}$  та шлаку (відходів металургійного виробництва), аеросилу 2-2,5%, застосування якого забезпечило б високу вогнегасну ефективність пожеж класів D та А, В.

Введення до вогнегасного порошку тонко подрібненого шлаку помолу меншими ніж 50 мікрон із набагато вищою щільністю дає змогу поліпшити

гранулометричний склад порошку, збільшивши при цьому його питому щільність.

Висока об'ємна маса та термостійкість шлаку дають змогу ефективно ізолювати палаючий метал від навколишнього середовища і поверхні, яка не загорілася.

Як правило загоряється магній, а потім горять горючі речовини, розташовані поряд. Для гасіння пожеж класу А і В важливе значення мають складники порошку, які є інгібіторами горіння.

Додавання до рецептури порошку ефективних інгібіторів горіння в порошкоподібному стані, типу амофосу, покращить гасіння пожеж класу А і В. Кількість амофосу має бути оптимальною, щоб не викликати прогорання порошку, що застосований на гасіння пожежі класу D.

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

Щоб визначити вогнегасні характеристики порошку, різної рецептури для гасіння магнієвих сплавів, необхідно провести вогневі випробування. Експеримент в лабораторних умовах пропонуємо проводити за вдосконаленою методикою [84, 85].

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 термостійке деко та рівномірно розподіляємо по площі 15x19 см<sup>2</sup>. 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. 2.2) [86, 87, 45].

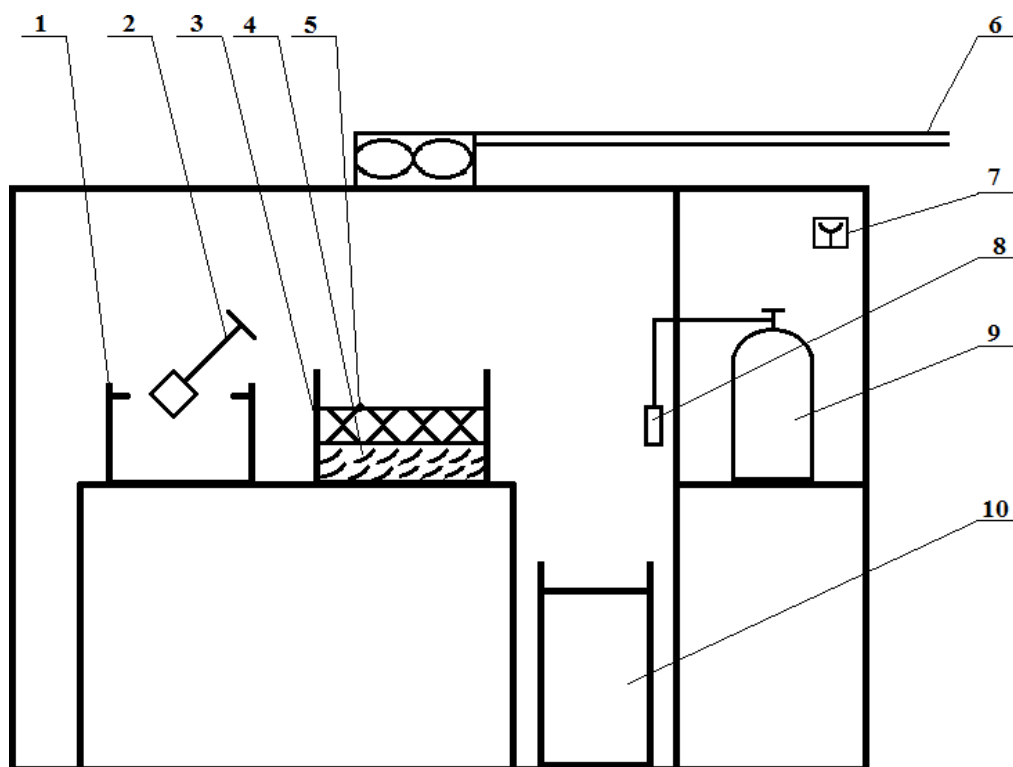


Рисунок 2.2 – Випробування рецептур вогнегасного порошку в лабораторних умовах: 1 – ємність з ВПСП; 2 – лопатка для насиння порошку; 3 – термостійке деко; 4 – ошурки сплавів магнію; 5 – шар ВПСП; 6 – система димовилучення лабораторної шафи; 7 – вмикач системи вентиляції; 8 – газовий пальник; 9 – балон 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 (рис. 2.2) 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 ошукрок 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 2.1

Результати гасіння магнію та його сплаву різними вогнегасними складами, які містять хлорид натрію, мелений шлак з відходів металургійного виробництва, амофос та аеросил (A175)

№ 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	60	25	13,5	0,32
2	50	25	23,5	0,53
3	53	25	20,5	0,5
4	55	25	18,5	0,47
5	58	25	15,5	0,35
6	65	20	13,5	0,3
7	55	20	23,5	0,47
8	58	20	20,5	0,35
9	60	20	18,5	0,34
10	63	20	15,5	0,31



## Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
11	55	30	13,5	0,49
12	45	30	23,5	0,64
13	48	30	20,5	0,57
14	50	30	18,5	0,46
15	53	30	15,5	0,43

В усіх випадках кількість аеросилу в рецептурі вогнегасних порошків становить 1,5%.

Найдешевший складник в рецептурі є шлак і хлорид натрію. Ми знаємо з попередніх досліджень [2, 5, 6], що оптимальним складом вогнегасного порошку для гасіння сплавів магнію є порошок КМ-1 до складу якого входить мелений шлак, хлорид натрію і аеросил ( відповідно 25%, 73,5%, 1,5%). 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 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).

Амофо с (скорочено від амоній та фосфор) - 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 ми знаємо, що амофос на поверхні магнію при високій температурі більше 1300 °С прогорає. Тому нам треба 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 розбіжність результатів не більше 15%, в табл. 2.1 записуємо усереднені результати.

## **2.2. Методи і чинники математичного планування експериментів та їх вибір**

Відомі методи аналізу процесів пожежогасіння, що містять послідовний 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.

Зараз у багатьох сферах промислового виробництва все більш ширше застосовують нові математичні методи, які дають змогу отримати математичні моделі, що відображають процеси і об'єкти, та із достатнім ступенем точності і надійності керувати ними.

При описанні впливу вогнегасного складу порошку на показники ефективності і продуктивності процесу пожежогасіння при різних його складах, близькі до оптимуму моделі 1-го порядку, переважно не підходять. Тому досить часто доводиться послуговуватися поліноміальними моделями другого порядку. Однак ми наперед не знаємо ні виду поверхні відгуку, ні області, в якій розташований оптимум. Тому для планування експерименту постійно намагаємося використовувати плани, які визначають отримання найбільшої інформації за найнесприятливіших умов і за відносно невеликої

кількості дослідів, тобто оцінюють оптимальність цих планів за різними критеріями.

З'ясовано [88-90], що плани повних факторних експериментів типу  $2^k$ , дробових факторних експериментів типу  $2^{k-p}$  і плани на основі матриць Адамара відносяться до найбільш ефективних при побудові лінійних моделей і задовольняють як критеріям ортогональності, симетричності, нормування, рототабельності, так і критеріям D-, G-, A- і E- оптимальності, при яких відповідно мінімізується об'єм еліпсоїда розсіювання оцінок параметрів, максимальне значення дисперсії оцінки поверхні відгуку, середня дисперсія оцінок коефіцієнтів і максимальне власне значення коваріаційної матриці.

При переході до побудови моделей 2-го порядку вибір оптимальних планів помітно ускладнюється 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 [90]. 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, ми мусимо 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 магнію та його сплаву (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  $3^k$  [91]. 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 ( $N=2^{k-p}+2k+n_0$ ) різко зменшується, бо переважно приймають  $n_0=1$ . Для практичного використання композиційних планів необхідно встановити значення плеча зоряних точок і число нульових точок. Вибір проводиться виходячи із вибраного критерію оптимальності планування [92].

Перелік факторів [91], що впливають на контрольовані параметри процесу пожежогасіння вогнегасного порошку, попередньо встановлений на основі аналізу літературних даних. Для різних напрямів експериментальних досліджень остаточний вибір факторів варіювання проводять на підставі їх незалежності, детермінованості та значущості, що встановлювалися згідно з результатами попередніх експериментів. Факторами, що визначають інтенсивність подачі вогнегасного порошку на гасіння магнію та його сплавів, є відповідний склад вогнегасної речовини А (NaCl), В (мелений шлак), С (амофос).

### **2.3. 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 [92], при цьому за основні параметри пожежогасіння вогнегасним порошком прийнято: А (NaCl, фактор  $X_1$ ), В (мелений шлак, фактор  $X_2$ ) та С (амофос, фактор  $X_3$ ). Інші фактори – незмінні: площа горіння магнію –  $2,85 \times 10^{-2} \text{ м}^2$ ; вміст аеросилу в рецептурі вогнегасних порошків – 1,5 %. Рівні варіювання факторів для ДФЕ типу №30 [92] наведено у таблиці 2.2.

Більшість математичних залежностей, що описують процеси у технічних системах, мають вигляд ступеневих функцій. Не є винятком і пожежна безпека, де встановлюють зв'язки між параметрами оптимізації (геометричними та фізичними параметрами, складовими різних процесів тощо) та характеристиками процесів пожежогасіння у вигляді цих же функцій. Тому вважаємо, що для процесу гасіння магнію та його сплавів розробленим 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 ошурок магнію. Після стандартного логарифмічного перетворення ступеневі функції отримують рівняння регресії, для якої допустимо використовувати матриці планування експериментів:

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

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 відомою методикою, яка містить статистичний аналіз досліджень [91, 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 2.2

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> , %	$X_1$	65	45	20
2	Мелений шлак <i>B</i> , %	$X_2$	30	20	10
3	Амофос <i>C</i> , %	$X_3$	23,5	13,5	10

#### 2.4. 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 магнію та його сплавів характеризується витратою порошку та його складом у певному відсотковому співвідношенні. Внаслідок цього поверхня гасіння вкривається шаром вогнегасного порошку, який зупиняє процес горіння ошурок магнію. 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 (NaCl) *A*, меленого шлаку *B*, амофосу *C*. 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 магнієвих ошурок контролювали такий параметр, як інтенсивність подавання вогнегасного порошку *I* за різного його складу. За оптимальні параметри процесу пожежогасіння магнієвих ошурок прийнято: хлорид натрію (NaCl) *A*, мелений шлак *B*, амофос *C*. Інші фактори – стабілізовані: площа горіння магнію –  $2,85 \times 10^{-2} \text{ м}^2$ ; вміст аеросилу в рецептурі вогнегасних порошоків – 1,5 %. На підставі експериментальних досліджень для процесу пожежогасіння магнієвих ошурок прийнято такі межі зміни факторів:  $A = 45 - 65 \%$ ;  $B = 20 - 30 \%$ ;  $C = 13,5 - 23,5 \%$ .

Матриця планування дробового багатофакторного експерименту і визначені значення інтенсивності подавання вогнегасного порошку, отримані при гасінні магнієвих ошурок, наведено у таблиці 2.3.

Обробку результатів експериментальних досліджень проводили за загальноприйнятою методикою [91]. Математичні залежності у кодованих змінних для визначення інтенсивності подавання вогнегасного порошку після перевірки однорідності дисперсій, відтворюваності у дослідях за критерієм Кохрена, значущості коефіцієнтів регресій за допомогою критерію

Стюдента та адекватності математичних моделей при застосуванні критерію Фішера мають вигляд:

$$y_I = -0,3665 - 0,2303 \cdot x_1^2 - 0,2334 \cdot x_2^2 - 0,2073 \cdot x_3^2 + 0,0022 \cdot x_1 - 0,0009 \cdot x_2 - 0,0391 \cdot x_3 - 0,0260 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0189 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,0138 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (2.4)$$

Таблиця 2.3

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	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-0,5213	-0,4685	-0,4949
2	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-0,2918	-0,2596	-0,2757
3	+	0	0	+	0	0	-	0	0	0	-0,4800	-0,4318	-0,4559
4	+	0	+	+	0	-	+	0	0	-	-0,5509	-0,4949	-0,5229
5	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-0,3460	-0,3098	-0,3279
6	+	+	0	0	+	0	0	0	0	0	-0,4800	-0,4318	-0,4559
7	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-0,5357	-0,4815	-0,5086
8	+	+	0	+	-	0	+	0	-	0	-0,3186	-0,3010	-0,3098
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-0,2071	-0,1805	-0,1938
10	+	0	+	0	0	+	0	0	0	0	-0,3862	-0,3468	-0,3665
	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> = -4,2491		
	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>			

На підставі аналізу результатів дисперсійного аналізу за величиною та знаком коефіцієнтів регресії із математичної залежності (2.4) можна зробити такий висновок: для гасіння магнію та його сплавів найбільший вплив на інтенсивність подавання вогнегасного порошку має амофос (фактор x<sub>3</sub>) та хлорид натрію (NaCl, фактор x<sub>1</sub>). Найбільш впливовою є взаємодія факторів x<sub>2</sub>·x<sub>3</sub>, після неї – взаємодія x<sub>1</sub>·x<sub>2</sub>. 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:

$$\begin{aligned} \lg I = & -0,3912 - 0,2567 (12,5 \lg A - 21,66)^2 - 0,2690 (11,36 \lg B - 15,78)^2 - 0,3090 \\ & (8,30 \lg C - 10,38)^2 - 0,0301 (12,5 \lg A - 21,66) + 0,0029 (11,36 \lg B - 15,78) + \\ & + 0,1037 (8,30 \lg C - 10,38) + 0,0206 (12,5 \lg A - 21,66) \cdot (11,36 \lg B - 15,78) + \\ & + 0,0078 (12,5 \lg A - 21,66) \cdot (8,30 \lg C - 10,38) + 0,0263 \cdot (11,36 \lg B - 15,78) \\ & \cdot (8,30 \lg C - 10,38) \end{aligned}$$

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

На підставі аналізу даних експериментальних досліджень, тобто рівняння регресії і графічних залежностей можна, зробити наступні висновки. Забезпечити оптимальну інтенсивність подавання вогнегасного порошку для гасіння магнію та його сплавів можна за такого оптимального співвідношення компонентів порошку:  $A = 58 \%$ ;  $B = 20 \%$ ;  $C = 20,5 \%$ . 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.

## 2.5. Полігонні випробування КМ-2 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 4 (амофос –

20,5%, NaCl – 58%, мелений шлак – 20%, аеросил – 1,5%). Час гасіння становив 3,1 с.

Таблиця 2.4

## Результати гасіння модельного вогнища з ВП-1

№ з/п	Компоненти вогнегасного порошку			Час на гасіння, t (с)
	NaCl, %	мелений шлак, %	амофос, %	
1	60	25	13,5	8,5
2	58	25	15,5	6,6
3	53	25	13,5	7,3
4	58	20	20,5	3,1
5	63	20	15,5	5,2



Рисунок 2.3 – Гасіння макетної пожежі класу В вогнегасним порошком КМ-2

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-2 гасимо модельне вогнище ошурок магнію відповідно до Проекту методики [103].



Рисунок 2.4 – Горіння магнію в металевому деку

Метод випробування порошків 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 [40].

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 (наприклад, хлорид барію  $BaCl_2$ ) 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,  $PH_3$ , 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  $1 \times 1$  м і товщиною 5 мм. Для зручного згортання спаленого металу використовують знімний металевий каркас розмірами  $(600 \times 600 \times 300)$  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 змазувально-охолоджуючого масла використовують  $18,0 \pm 0,1$  кг металу для кожного досліджу.

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 сталеві плити так, щоб не допустити витіку 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 розряджено, пожежа залишається у стані спокою протягом часу, рекомендованого виробником вогнегасника або протягом 60 хвилин, якщо відповідної рекомендації немає.

Для випробування КМ-2 використовуємо ВП-6 та засипаємо в квадратне деко 7.94 кг магнієвої стружки. Розраховуємо відповідно кількість магнієвого сплаву до маси заряду ВП-6. 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 металевої стружки до початку горіння. В нашому випадку вона становила 0,8 кг. В другому досліді маса спаленої стружки становила 0,9кг пожежа була загашена за 25секунд. З цього можна зробити висновок, що ВПСП КМ-2 можна використовувати для гасіння пожеж класу D та A, B.

## **2.6. Характеристика вогнегасного порошку спеціального призначення КМ-2**

Вогнегасні порошки можуть використовуватись для ліквідації горіння твердих, рідких та газоподібних речовин (класи пожеж А, С, D, E). 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 та лужноземельних металів та інших речовин (калію, магнію, натрію), які не можна гасити водою та водяними розчинами.

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

Вогнегасний порошок КМ-2 може використовуватись для гасіння пожеж легких металів (магній, алюміній) та пожеж класів, А, В, Е електроустановок під напругою в приміщеннях різного призначення та на відкритому просторі.

Для гасіння металовмісних речовин необхідно створити за допомогою порошку захисний шар покриття вогнища горіння, що перешкоджатиме 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 ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ). При виникненні пожежі класу D може розвинути пожежа класів A і B, тому пропонуємо вдосконалений порошок КМ-1, КМ-2.

Головними перевагами вогнегасного порошку КМ-2 є:

- здатність гасіння спеціальних речовин, таких, наприклад, як палаючий сплав магнію, алюмінію і т.ін.;
- використання інгібіторів горіння, що дає можливість гасити пожежі інших класів;
- нетоксичність для людей, тварин і довкілля;
- низька вартість;
- зручність зберігання і використання.

Для більш детальнішої характеристики вогнегасного порошку КМ-2 було проведено дослідження з визначення маси фракцій порошку. Результати досліджень представлені в табл. 2.5.

Для дослідження фракцій порошку використовуємо три лабораторні сита СЛМ-200 з розмірами вічка, рекомендованими для визначення фракцій порошку: 0,1; 0,071; 0,045 мм, кришки та днища, ваги лабораторні AXIS BTU-210.

Експеримент в лабораторних умовах проводили за такою методикою:

- підготували наважки вогнегасного порошку КМ-2 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, коли маса порошку не змінювалася тоді результати заносили в табл. 2.7. Дослід проводили три рази.

## Визначення фракцій маси порошку

№ з/п дослідю	Кількість порошку під час проведення дослідю, г	Розмір вічка, Мм	Маса порошку за фракціями, г
1	1000	до 0,1	150,1
		0,1 – 0,071	215,8
		0,071 – 0,045	509,2
		менше 0,045	124,9
2	1000	до 0,1	160,4
		0,1 – 0,071	214,7
		0,071 – 0,045	503,1
		менше 0,045	121,7
3	1000	до 0,1	155,3
		0,1 – 0,071	212,4
		0,071 – 0,045	507,1
		менше 0,045	125,2

Після проведення дослідження опрацьовуємо результати з табл. 2.7 та визначаємо середнє значення маси порошку в грамах та у відсотковому значенні, записуємо в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

## Середні значення маси порошку

Кількість порошку під час проведення дослідю, г	Розмір вічка, мм	Середнє значення маси порошку за фракціями, г	Середнє значення маси порошку за фракціями, %
1000	до 0,1	155,3	15,53
	0,1 – 0,071	214,3	21,43
	0,071 – 0,045	505,5	50,55
	менше 0,045	124,9	12,49



Як бачимо, кількість порошку фракції до 0,1 мм становить 15,53%. Такий відсоток порошку є необхідний для того щоб при подаванні важкі частинки осідали на горючу поверхню та не піднімались вгору.

Також досліджено показники якості вогнегасного порошку [94, 87], які наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

## Показники якості вогнегасного порошку КМ-2

№ з/п	Назва показників якості	Значення параметра
1	Насипна густина не ущільненого порошку кг/м <sup>3</sup> , не більше	1020
2	Насипна густина ущільненого порошку кг/м <sup>3</sup> , не більше	1295
3	Утримання вологи, % не більше	0,5
4	Вогнегасна здатність, кг/м <sup>2</sup>	10,5
5	Стійкість до термічної дії	Стійкий
6	Стійкість до вібрації	Стійкий
7	Термін зберігання, років, не менше	5

Вогнегасна здатність у КМ-2 дещо нижча ніж у КМ-1 для гасіння пожеж класу D. Це пояснюється вмістом амофосу. Після закінчення терміну придатності КМ-2 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-2 можна утилізувати в якості піскосумішей у зимовий період для посипання пішохідних доріжок.

## 2.7. Висновки до розділу

1. Розроблено рецептуру порошку КМ-2 для гасіння пожеж класу D та A, B, який складається з хлориду натрію, амофосу, шлаку, аеросилу. Площа горіння магнію у всіх дослідах однакова –  $2,85 \times 10^{-2} \text{ м}^2$ .

2. На підставі аналізу даних експериментальних досліджень, тобто рівняння регресії і графічних залежностей, можна, при забезпеченні оптимальної інтенсивності подавання вогнегасного порошку для гасіння магнію та його сплавів здійснити гасіння за такого оптимального співвідношення компонентів порошку:  $A = 58 \%$ ;  $B = 20 \%$ ;  $C = 20,5 \%$ . Вирішити це завдання дозволяє побудована дослідно-емпірична залежність. За її допомогою легко можна підібрати необхідний склад вогнегасного порошку для гасіння пожеж класів D та A, B. Ця залежність справедлива не тільки для рецептури з хлориду натрію, меленого шлаку та амофосу, але і для порошоків з близькими вогнегасними властивостями та гасіння пожеж відповідних класів.

3. Кількість порошку фракції до 0,1 мм становить 15,53%. 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 21,43 %, найбільший відсоток – 55,50 % становить фракція 0,071 – 0,045, що свідчить про хороші експлуатаційні характеристики, фракція, менше 0,045мм становить 12,49%.

4. Встановлено показники якості вогнегасного порошку, які наведені в табл.2.9, вогнегасна здатність  $10,5 \text{ кг/м}^2$ , стійкий до термічної дії, насипна густина ущільненого порошку – не більше  $1\,295 \text{ кг/м}^3$ .

5. Проведено успішне гасіння порошком КМ-2 вогнищ пожеж класу D і B, що свідчить про ефективність розробленого порошку.

6. Після закінчення терміну придатності КМ-2 підлягає регенерації або утилізації. Для регенерації він відправляється на завод-виробник для

відновлення його властивостей і характеристик. Утилізується КМ-2 в якості піскосумішей у зимовий період для посипання пішохідних доріжок.

Результати досліджень опубліковано в працях [86, 95, 115, 119].

## РОЗДІЛ 3

### МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕСУ У ШАРІ ВОГНЕГАСНОГО ПОРОШКУ ПРИ ГАСІННІ ОШУРОК СПЛАВУ МАГНІЮ

Для ефективного гасіння пожеж класу D необхідно вивчити теплофізичні характеристики вогнегасних порошоків в умовах гасіння ними пожеж порошоків магнієвих сплавів та використати це як наукове підґрунтя для їх використання у якості теплової ізоляції осередків таких пожеж для запобігання їх подальшому поширенню.

Для цього необхідно зробити таке:

1. Провести експериментальні вимірювання температури в осередку пожежі порошоків магнієвих сплавів та за його межами за умов проведення її гасіння вогнегасним порошком.

2. Створити математичну модель для визначення ізолювального шару вогнегасного порошку та інтенсивності гасіння на прикладі порошку спеціального призначення КМ-2 для гасіння пожеж D та А, В.

3. Вивчити закономірності зміни ефективного коефіцієнта теплопровідності ізолювального шару вогнегасного порошку та коефіцієнта тепловіддачі на границі між ним та навколишнім середовищем залежно від товщини цього шару.

4. Розробити методику визначення необхідної кількості вогнегасного порошку для досягнення відповідного ізолювального ефекту та визначити необхідну товщину шару цього вогнегасного порошку.

### 3.1. Експериментальне дослідження ефективності гасіння горіння металів

Для прогнозування можливості теплової ізоляції осередку горіння ошукрок сплавів магнію був проведений експеримент в лабораторних умовах (рис. 3.1).

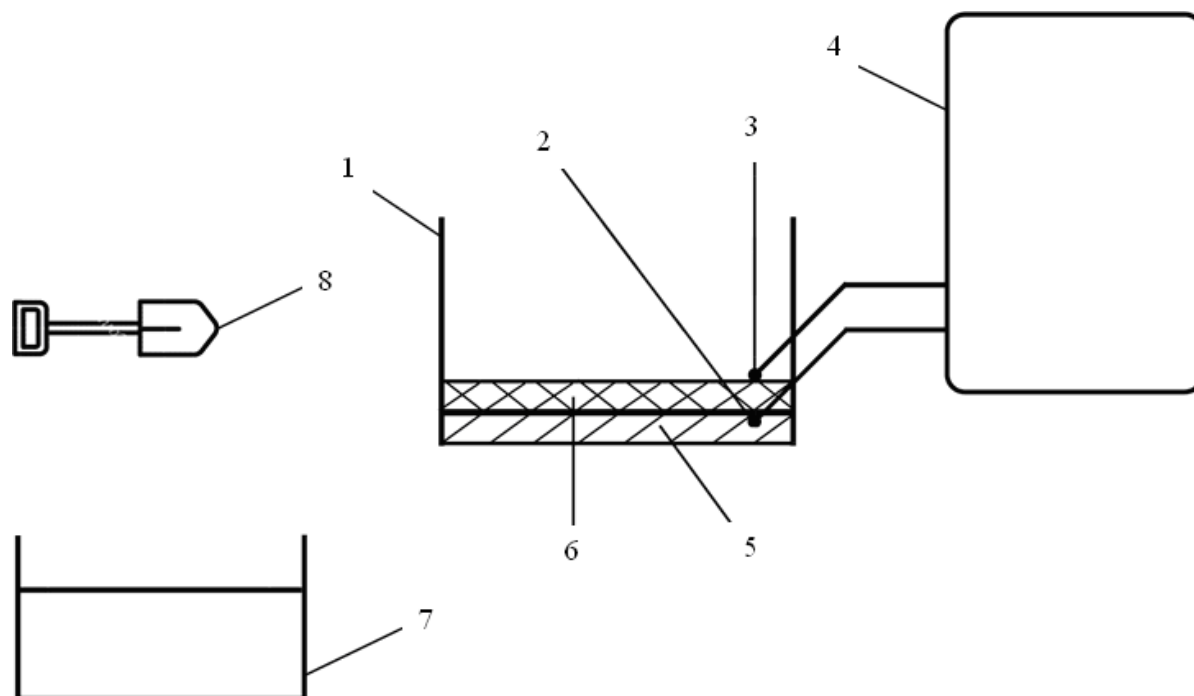


Рисунок 3.1 – Схема лабораторної установки для визначення ефективності гасіння легких металів: 1 – деко термостійке розміром 15x19см; 2 – термопара для визначення температури на поверхні металу, що горить; 3 – термопара на поверхні порошку на межі з повітрям; 4 – комп'ютер; 5 – ошурки сплаву магнію та алюмінію; 6 – вогнегасний порошок; 7 – посудина з вогнегасним порошком; 8 – лопатка для нанесення порошку на горючу поверхню

Експеримент проводили у два етапи: на першому етапі досліджували тонкий шар вогнегасного порошку при тривалому процесі гасіння для того, щоб досягти встановлення теплового процесу; на другому етапі проводилося декілька експериментів для яких встановлення теплового процесу не було

обов'язковим [86, 95]. На рис. 3.2 показано процес насипання порошку і вимірювання температури на поверхні при гасінні сплавів магнію.



Рисунок 3.2 – Насипання порошку при гасінні сплаву магнію в лабораторних умовах

Після проведення експерименту були отримані температурні показники, що наведені у табл. 3.1.

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  $0,93\text{ кг/м}^2\cdot\text{с}$ .

Температурні показники у шарі вогнегасного порошку під час процесу  
гасіння ошурок сплаву магнію

№ з/п	Товщина шару нанесеного ВП, мм	Температура на межі метал / порошок, °С	Температура (Тз) на межі повітря / порошок, °С	Час гасіння, с	Розмір дека, мм	Маса витраченого порошку
1*	1	730	170	25	Ширина – 150 Довжина – 190	26,5
2	3	740	130	20		79,5
3	5	735	110	18		132,5
4	6	748	94	15		159,0
5	8	750	72	12		212
6	10	732	60	10		265

\* Експериментальна ситуація, коли тепловий процес набув стаціонарного режиму

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

### 3.2. Математична модель теплового процесу під час гасіння металів вогнегасним порошком

Для створення математичної моделі для цього теплового процесу були сформульовані такі основні положення:

1. Тепловий процес у шарі вогнегасного порошку при гасінні ошурок із сплаву магнію є нестационарним, окрім процесу у першому досліді, для якого

така передумова виконується при створенні відповідних експериментальних умов.

2. Умови теплообміну на границі між вогнегасним порошком та повітрям залишаються однаковими та незмінними для всіх дослідів.

3. Температура шару на границі із горючим середовищем є сталою і не змінюється протягом часу гасіння.

4. Шар вогнезахисного порошку є однорідним, ізотропним і не містить порожнин.

5. Супутні теплові процеси у шарі вогнегасного порошку враховуються при введенні ефективного коефіцієнта теплопровідності, який визначається за емпіричними показниками.

6. Ефективний коефіцієнт теплопровідності  $\lambda(\delta)$  не залежить від температури, його значення може залежати від товщини шару вогнегасного порошку  $\delta$ .

7. Питома теплоємність  $C_p$  та густина  $\rho$  порошку мають сталі значення і не залежать від температури або товщини шару і приймаються згідно із даними робіт [85, 86, 95].

З огляду на прийняті основні положення для створення математичної моделі було розглянуто процеси двох типів – стаціонарний та нестаціонарний. Розрахункова схема для стаціонарного процесу наведена на рис. 3.3.

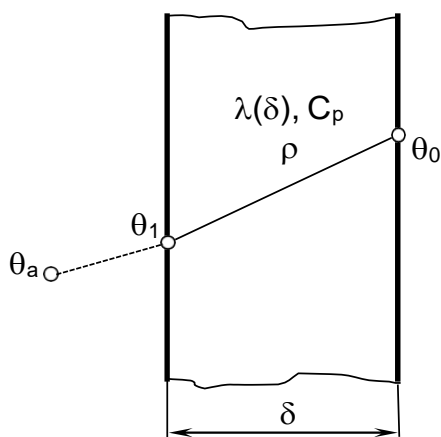




Рисунок 3.3 – Розрахункова схема для побудови математичної моделі стаціонарного теплового процесу у шарі вогнегасного порошку при гасінні ошурок із сплаву магнію

За розрахунковою схемою, представленою на рис. 3.3, і враховуючи стаціонарність теплового процесу для першого досліду, згідно із табл. 3.1, можемо записати рівняння теплового балансу на границі між повітрям та шаром вогнегасного порошку, використовуючи закони Фур'є та Ньютона-Ріхмана [96]:

$$\alpha[\theta_1 - \theta_a] = \frac{\lambda(\delta)}{\delta}[\theta_0 - \theta_1], \quad (3.1)$$

де  $\theta_0$  – температура на поверхні порошку з боку горючого середовища – ошурок з магнієвого сплаву, °С;

$\theta_1$  – температура поверхні шару порошку з боку границі між ним і повітрям, °С;

$\theta_a = 20$  °С – температура повітря;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі між поверхнею шару порошку та повітря.

Для подальших досліджень було введено спеціальний коефіцієнт, що встановлює співвідношення між коефіцієнтом теплопровідності та коефіцієнтом тепловіддачі, що визначається як:

$$a_1 = \frac{\alpha}{\lambda(\delta)} = \frac{\theta_0 - \theta_1}{\delta[\theta_1 - \theta_a]}. \quad (3.2)$$

Як припущення можемо прийняти, що таке рівняння можна записати для всіх дослідів, оскільки стаціонарний тепловий процес передбачає, що температура набуває найбільших значень. Це означає що таке спрощення

приведе до визначення наближених температур у бік збільшення по відношенню до реальних.

У випадку нестационарного теплового процесу для всіх дослідів, включаючи перший, до набуття тепловим процесом встановленого режиму використовується нестационарне рівняння теплопровідності у вигляді [96, 97]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\lambda(\delta)}{C_p \rho} \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}. \quad (3.3)$$

Рівняння (3.2) записане із врахуванням положень розрахунків, які сформульовані вище. Це рівняння вирішується числовим способом при апроксимації рівняння (3.3) за методом кінцевих різниць. Для цього можна використати розрахункову схему, наведену на рис. 3.4

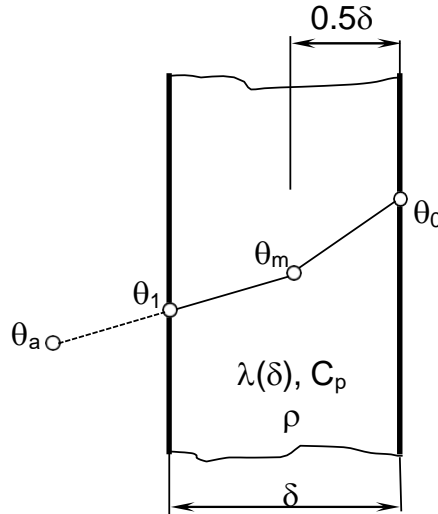


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема для побудови математичної моделі нестационарного теплового процесу у шарі вогнегасного порошку при гасінні ошуків із сплаву магнію

За схемою, поданою на рис. 3.4 встановлюємо, що на границі між горючим середовищем та шаром вогнегасного порошку можна записати граничні умови I роду [96, 97]:

$$\theta|_{x=\delta} = \theta_0. \quad (3.4)$$

Для границі між шаром вогнегасного порошку та повітрям встановлюються ГУ III роду [86, 95]:

$$\lambda(\delta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha[\theta_1 - \theta_a]. \quad (3.5)$$

Використовуючи розрахункову схему на рис. 3.4 було отримано вираз кінцево-різницевої апроксимації рівняння теплопровідності (3.3), згідно із [86, 95], який наведений нижче:

$$\theta_{m,k+1} = \theta_{m,k} + \frac{2\lambda(\delta)}{C_p \rho} \frac{\theta_{0,k} - 2\theta_{m,k} + \theta_{1,k}}{\delta^2}, \quad (3.6)$$

У цьому рівнянні параметр  $k$  визначає номер кроку інтегрування за часом, вираз (3.6) записаний для величини кроку за часом  $\Delta t = 1$  с.

Вираз для кінцево-різницевої апроксимації ГУ III роду на границі між шаром вогнегасного порошку та повітрям має такий вигляд [96, 97]:

$$2\lambda(\delta) \frac{\theta_{m,k} - \theta_{1,k}}{\delta} = a_1 \lambda(\delta) [\theta_{1,m} - \theta_a]. \quad (3.7)$$

У рівнянні (3.6) температура на границі між шаром вогнегасного порошку та повітрям визначається з виразу:

$$\theta_{1,k} = \frac{2\lambda(\delta)\theta_{m,k} + a_l\delta\lambda(\delta)\theta_a}{2\lambda(\delta) + a_l\delta\lambda(\delta)}. \quad (3.8)$$

Вираз (3.6) – це рекурентна формула, яка може бути записана як рівняння відносно перемінної величини  $\lambda(\delta)$  у вигляді:

$$\theta_{1,k \max} - \theta_{1\text{експ}} = 0, \quad (3.9)$$

де  $\theta_{1\text{експ}}$  – відповідне значення температури на границі шару вогнегасного порошку та повітря, згідно із табл. 3.1.

### **Визначення товщини шару вогнегасного порошку для теплової ізоляції осередку горіння**

Для розрахунку коефіцієнта теплопровідності було визначено відношення коефіцієнта тепловіддачі до коефіцієнта теплопровідності за формулою (3.2). Визначені значення цього відношення наведені у табл. 3.2. Крім цього, з огляду на роботи [86, 95] приймаємо відповідні величини питомої теплоємності та густини вогнегасного порошку, що також наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Відношення коефіцієнта тепловіддачі до коефіцієнта теплопровідності для експериментальних ситуацій

Номер експерименту (див. табл. 2.1)	1	2	3	4	5	6
Величина відношення $\alpha/\lambda(\delta)$ , $\cdot 10^3$ м	3,733	1,848	1,389	1,473	1,63	1,68
Питома теплоємність, $C_p$ , Дж/(кг $\cdot$ °C)	1000					
Густина, $\rho$ , кг/м $^3$	950					

Першим етапом розрахунку є визначення коефіцієнта теплопровідності, який, згідно із положеннями розрахунку та умовами проведення експерименту, визначається за даними першої експериментальної

ситуації, згідно із табл. 3.1. Для цього використовується рівняння (3.9) та дані табл. 3.2. Рівняння (3.9) вирішується за допомогою методу половинного ділення з попередньою оцінкою числового значення рішення за допомогою графічного методу. На рис. 3.5 наведено графік залежності лівої частини рівняння (3.9) від коефіцієнта теплопровідності шару вогнегасного порошку із відміченим на ньому розташуванням шуканого значення коефіцієнта теплопровідності для цієї експериментальної ситуації.

Попередньо визначене значення є першим наближенням для проведення пошуку рішення рівняння (3.9) за алгоритмом методом половинного ділення. Отримавши значення коефіцієнта теплопровідності з використанням формули (3.2) та за визначеним значенням відношення коефіцієнта тепловіддачі до коефіцієнта теплопровідності, визначаємо коефіцієнт тепловіддачі.

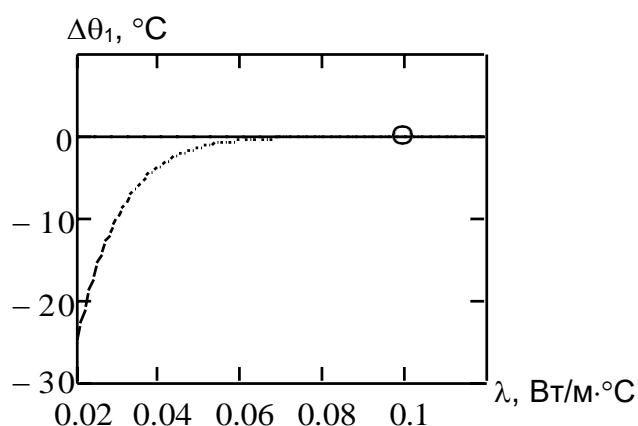


Рисунок 3.5 – Залежність лівої частини рівняння (3.9) від коефіцієнта теплопровідності шару вогнегасного порошку для першої експериментальної ситуації

За методом половинного ділення та попереднім значенням коефіцієнта теплопровідності визначасмо уточнене значення із точністю  $\sigma = 0,001$  °C. Отримане уточнене значення коефіцієнта теплопровідності та значення коефіцієнта тепловіддачі зводимо у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Значення коефіцієнта теплопровідності та коефіцієнта тепловіддачі для першої експериментальної ситуації

Номер експерименту (див. табл. 2.1)	1
Величина відношення $\alpha/\lambda(\delta)$ , $\cdot 10^3$ м	3,733
Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(\delta)$ , Вт/(м $\cdot$ °C)	0,106
Коефіцієнт тепловіддачі, $\alpha$ , Вт/(м $^2$ $\cdot$ °C)	395,733

Використовуючи отримані дані за подібним алгоритмом було визначено коефіцієнти теплопровідності для інших експериментальних ситуацій.

На рис. 3.6 наведені графіки залежностей лівої частини рівняння (3.9) від коефіцієнта теплопровідності шару вогнегасного порошку із відміченими на них положеннями, де знаходиться шукане значення, що буде використовуватися як попереднє наближення для методу половинного ділення.

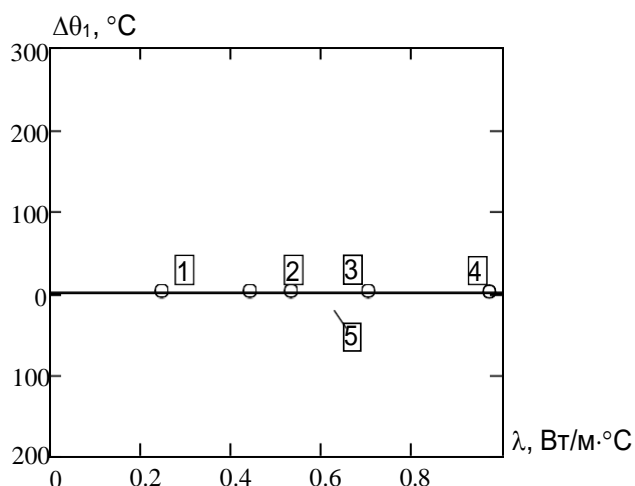


Рисунок 3.6 – Залежність лівої частини рівняння (9) від коефіцієнта теплопровідності шару вогнегасного порошку для різних експериментальних ситуацій: 1 – 2-ї; 2 – 3-ї; 3 – 4-ї; 4 – 5-ї; 5 – 6-ї

За методом половинного ділення та попередніми значеннями коефіцієнта теплопровідності визначаємо уточнені значення із точністю  $\sigma = 0,001$  °С. Отримані уточнені значення коефіцієнтів теплопровідності зводимо у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Значення коефіцієнтів теплопровідності для різних експериментальних ситуацій

Номер експерименту (див. табл. 3.1)	2	3	4	5	6
Коефіцієнт теплопровідності $\lambda(\delta)$ , Вт/м·°С	0,250	0,442	0,532	0,717	0,953
Товщина шару порошку, $\delta$ , мм	3	5	6	8	10
Коефіцієнт тепловіддачі, $\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)		395,733			

Отримані значення коефіцієнта теплопровідності дають змогу встановити його залежність від товщини шару вогнегасного порошку, що подана у вигляді відповідного графіка на рис.3.7.

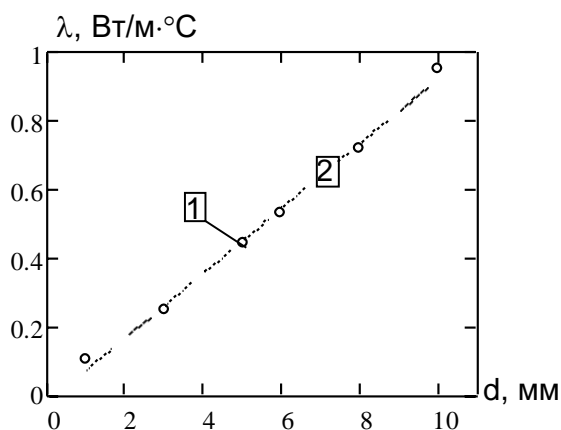


Рисунок 3.7 – Графіки залежності коефіцієнта теплопровідності шару вогнегасного порошку від його товщини: 1 – отриманий за проведеними експериментами; 2 – лінійна регресія

Графіки на рис. 3.7 показують що залежність коефіцієнта теплопровідності шару вогнегасного порошку від його товщини близька до лінійної. Проведений регресійний аналіз за алгоритмом, наведеним в роботі

[98], дав змогу визначити відповідні коефіцієнти. Вираз отриманої лінійної регресії наведений нижче.

$$\lambda(\delta) = - 0,016 + 93,907 \cdot \delta, \quad (3.10)$$

де  $\delta$  – товщина шару вогнегасного порошку у метрах.

Отримана регресійна залежність дає змогу визначити необхідний шар вогнегасного порошку, щоб забезпечити потрібну його термоізолювальну здатність.

Для прогнозування можливості теплової ізоляції осередку горіння ошукрок сплавів магнію можна використати розроблений нами алгоритм на основі вирішення рівняння (3.9). При цьому для визначення коефіцієнта теплопровідності має бути використана формула (3.10). Початкові дані до розрахунку зведені у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Початкові дані для визначення товщини шару вогнегасного порошку для забезпечення потрібної теплоізоляції

Коефіцієнт тепловіддачі, $\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	395,733
Температура на границі із горючим середовищем, $\theta_0$ , °С	900
Необхідна температура на границі із повітрям, $\theta_6$ , °С	80
Час гасіння, $t$ , с	60

Провівши необхідні розрахунки із використанням формул (3.6-3.9), отримуємо значення необхідної товщини шару вогнегасного порошку  $\delta = 45,2$  мм.



### **3.3. Методика розрахунку ізолювального шару при гасінні вогнегасними порошками ізолюючим способом**

Розроблена методика пропонується для вирішення науково-технічної задачі теплового ізолювання осередків горіння ошурків магнієвих сплавів шляхом встановлення необхідної товщини шару порошку, що виконує теплоізолювальні функції для запобігання поширенню пожежі на об'єктах зберігання таких матеріалів. Товщина шару пов'язана із розходом цього порошку і часом його подавання. За умов коли використовуються результати, отримані за цією методикою, можна досягти потрібного теплоізолювального ефекту і одночасно уникнути необґрунтованого розходу вартісного вогнегасного порошку.

Методика розрахунку полягає у виконанні таких процедур.

1. Приймається початкова мінімальна величина товщини ізолювального шару вогнегасного порошку на основі практичних рекомендацій до його подавання в осередок пожежі під час гасіння.

2. На основі рівнянь (3.6–3.10) та даних табл. 3.5 розраховується температура з боку необігріваної сторони ізолювального шару вогнегасного порошку.

3. Отримана температура порівнюється із допустимим значенням температури на необігріваній стороні.

4. Якщо температура на необігріваній стороні перевищує допустиме значення, розрахунок повторюється, якщо ні – розрахунок припиняється, а поточна товщина шару приймається як рекомендована для досягнення необхідного теплоізолювального ефекту.

Отримане значення товщини теплоізолювального шару вогнегасного порошку, показує що ця методика є ефективною.

Оскільки ці дані одержані в результаті експериментів для вогнегасного порошку, виготовленого на основі хлориду натрію, меленого шлаку та амофосу, то дані щодо теплофізичних характеристик обмежені класом саме

таких порошоків, але за необхідності такий же аналіз можна провести і для інших типів порошоків.

### 3.4. Висновки до розділу

1. Проведені експериментальні вимірювання температури в осередку пожежі ошурок магнієвих сплавів та на межі порошок-повітря за умов проведення гасіння вогнегасним порошком КМ-2.

2. Створена математична модель для визначення температури на не обігріваній стороні ізолювального шару вогнегасного порошку та інтенсивності гасіння на прикладі порошку спеціального призначення КМ-2 для гасіння пожеж D, A, B.

3. На основі створеної моделі був визначений коефіцієнт тепловіддачі між необігріваною стороною ізолювального шару вогнегасного порошку та навколишнім середовищем, що становить  $\alpha = 395,733 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , і досліджена залежність ефективного коефіцієнта теплопровідності від товщини цього шару. Показано, що ця залежність близька до лінійної і може бути описана формулою  $\lambda(\delta) = -0,016 + 93,907 \cdot \delta$ .

4. Розроблено методикау визначення необхідної кількості вогнегасного порошку для досягнення відповідного ізолювального ефекту і на основі цієї методики визначена необхідна товщина шару цього вогнегасного порошку  $\delta = 45,2 \text{ мм}$ .

Результати досліджень опубліковані в працях [3, 114, 119].

## РОЗДІЛ 4

### КОМБІНОВАНЕ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ

Пожежі легких металів, алюмінію, магнію ліквідовують вкриванням поверхні горіння спеціальним вогнегасним D-порошком для ізолювання горючого металу, 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 А, В. D-порошок може гасити і комбіновані пожежі, для цього в його склад було введено інгібітори горіння в кількості, які дають змогу гасити пожежі класів А, В і D. Будь який комбінований порошок буде дещо гірше ізолювати поверхню горючого магнію, трохи більше прогорати, але краще гасити пожежі класу А і В.

#### **4.1. Вибір піноутворювачів для гасіння комбінованих пожеж**

Якщо мова йде про великі площі горіння і необхідність ізолювати горючі матеріали, це можна зробити за допомогою піни підвищеної стійкості. Розглянемо вітчизняні та закордонні піноутворювачі, які можуть для цього використовуватись. Проведено серію досліджень на вітчизняних піноутворювачах «Альпен», «Пірена», «Барс S-1» «Барс S-2», «Барс S-1m, і визначимо кращий з них для комбінованого пожежогасіння. В першу чергу оцінимо якість піноутворювачів за кратністю і стійкістю піни.

#### 4.1.1. Визначення кратності і стійкості піни середньої кратності

Для визначення кратності і стійкості піни середньої кратності використовують установку (рис. 4.1), до комплекту якої входять:

- випробувальний прилад типу вогнегасника місткістю корпусу не менше ніж  $10 \text{ дм}^3$ ;
- ствол-генератор піни середньої кратності з розпилювачем, який забезпечує витрату розчину  $(66 \pm 3) \text{ см}^3/\text{с}$  у разі створення тиску у корпусі випробувального приладу типу вогнегасника від  $0,55 \text{ МПа}$  до  $0,60 \text{ МПа}$  (це приблизно відповідає тиску перед стволом-генератором піни від  $0,50 \text{ МПа}$  до  $0,55 \text{ МПа}$ );
- з'єднувальні шланги з внутрішнім діаметром не менше ніж  $10 \text{ мм}$ ;
- балон зі стисненим повітрям з редуктором або компресор для створення тиску у корпусі випробувального приладу типу вогнегасника;
- манометр з границею вимірювання не менше ніж  $1,0 \text{ МПа}$  ( $10 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ) і ціною поділки не більше ніж  $0,02 \text{ МПа}$  ( $0,2 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ).

Для збирання піни використовуємо металеву посудину (пінозбирач) місткістю  $(200 \pm 10) \text{ дм}^3$ , встановлену на раму.

Під час дослідів використаємо такі засоби вимірювальної техніки:

- мірний циліндр  $1-2000$  згідно з з ціною поділки  $20 \text{ см}^3$ ;
- ваги з границею зважування не менше ніж  $50 \text{ кг}$  з похибкою зважування не більше ніж  $0,05 \text{ кг}$ ;
- термометр з діапазоном вимірювання від  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  і ціною поділки не більше ніж  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- секундомір з границею вимірювання часу не менше ніж  $1800 \text{ с}$ , ціною поділки не більше ніж  $0,2 \text{ с}$  і похибкою вимірювання не більше ніж  $0,2 \text{ с}$ , який відповідає НД, погодженій встановленим порядком;
- попередньо відкалібровану мірну посудину (наприклад, пластикове мірне відро) місткістю не менше ніж  $10 \text{ дм}^3$  з ціною поділки не більше ніж  $1 \text{ дм}^3$ .

Для приготування робочого розчину піноутворювача використовують воду питну із загальною твердістю не більше ніж  $7 \text{ мг-екв/дм}^3$  і мірну посудину місткістю не менше ніж  $10 \text{ дм}^3$ .

Твердість води, відібраної з одного й того самого джерела, може суттєво коливатися у різні пори року. Оскільки цей показник якості може суттєво впливати на показники кратності, стійкості і вогнегасної ефективності піни, у разі виникнення сумнівів необхідно проконтролювати твердість води.

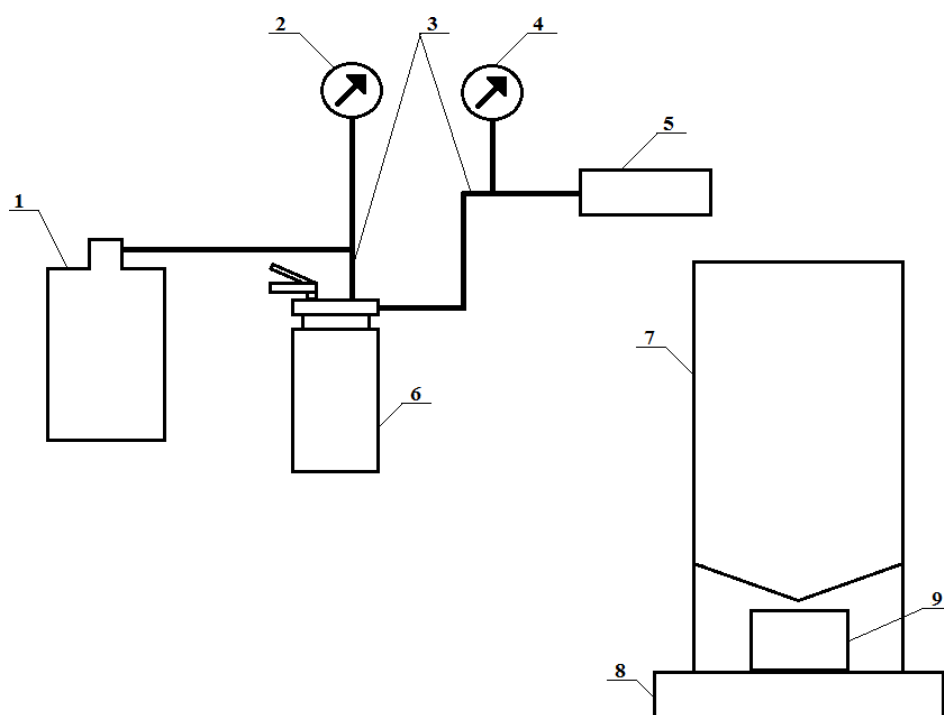


Рисунок 4.1 – Схема установки для визначення кратності і стійкості піни середньої кратності, а також тривалості гасіння і показника вогнегасної здатності за класом пожежі В під час гасіння піною середньої кратності:  
 1 – балон зі стисненим повітрям або компресор; 2, 4 – манометр;  
 3 – з'єднувальні шланги; 5 – ствол-генератор піни середньої кратності;  
 6 – випробувальний прилад типу вогнегасника; 7 – пінозбирач; 8 – ваги;  
 9 – мірне відро

### Підготовка до проведення випробування

У мірній посудині готують 10 дм<sup>3</sup> робочого розчину піноутворювача, ретельно перемішуючи піноутворювач і воду, взяті у відповідних кількостях. Перед кожною серією дослідів визначають температуру робочого розчину піноутворювача, яка має бути у межах  $(17,5 \pm 2,5)$  °С. Заливають приготовлений розчин піноутворювача до корпусу випробувального приладу типу вогнегасника і встановлюють запірно-пускову арматуру.

На ваги встановлюють металеву раму. На рамі розміщують посудину для збирання піни, під центр посудини ставлять мірний циліндр, куди буде стікати рідина, що буде виділятися з піни. Зважують разом посудину для збирання піни з рамою та циліндром і визначають їх загальну масу у кілограмах.

Відкривають вентиль редуктора і встановлюють тиск повітря у випробувальному приладі типу вогнегасника приблизно на 0,05 МПа ( $0,5 \text{ кгс/см}^2$ ) вище за задане значення. Подають піну у сторонню посудину до моменту встановлення заданого тиску, за необхідності регулюючи його редуктором.

Після стабілізації тиску і форми пінного струменя заповнюють піною посудину, зважують раму, циліндр і посудину з піною і визначають їх загальну масу в кілограмах. Під час заповнення посудини слідкують, щоб піна рівномірно заповнювала весь об'єм і не утворювала порожнин.

Кратність піни  $K$  розраховують за формулою:

$$K = \frac{V_n \cdot \rho_p}{m_2 - m_1}, \quad (4.1)$$

де  $V_n$  – об'єм піни, що дорівнює внутрішньому об'єму пінозбирача, дм<sup>3</sup>;

$\rho_p$  – густина робочого розчину піноутворювача, кг/дм<sup>3</sup>;

$m_1$  – сумарна маса підставки, циліндру і пінозбирача, кг;

$m_2$  – сумарна маса підставки, циліндру і пінозбирача з піною, кг.

Густина робочого розчину піноутворювача приймають 1,00 кг/дм<sup>3</sup>.

Після рівномірного заповнення посудини піною фіксують тривалість виділення з неї 50 % від об'єму витраченого робочого розчину піноутворювача (його визначають за різницею мас  $m_2 - m_1$ ).

Визначений проміжок часу є мірою стійкості піни.

За результат випробовування приймають середнє арифметичне двох дослідів. Допустима розбіжність між результатами дослідів, одержаними одним оператором за постійних умов випробовування за довірчої імовірності 0,95, не повинна перевищувати  $\pm 10$  % відносно середнього арифметичного значення. Якщо розбіжність між результатами дослідів перевищує вказане значення, потрібно провести додаткові досліді для визначення остаточного результату. Результати випробовування заносимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Результати випробувань з визначення кратності і стійкості піни середньої кратності, що утворюється з 6 % водного розчину зразка піноутворювача

Зразок	№ дослідів	Кратність піни		Стійкість піни, с	
		фактичні значення	середні значення	фактичні значення	середні значення
«Барс S-1» 6%	1	78	80	224	223
	2	82		222	
«Барс S-1m» 6%	1	70	71	140	141
	2	72		142	
«Барс S-2» 6%	1	80	83	500	490
	2	86		480	
«Альпен»	1	77	79	160	162
	2	81		164	
«Пірена-1»	1	68	69	158	156
	2	70		154	

#### **4.1.2. Визначення тривалості гасіння піною середньої кратності та показника вогнегасної здатності**

Визначення тривалості гасіння піною середньої кратності модельного вогнища пожежі 55В1 за інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача  $(0,038 \pm 0,004) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \times \text{с})$  і показника вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною середньої кратності

- деко модельного вогнища пожежі 55В згідно з ДСТУ 3675;
- пальне.

Як пальне використовують н-гептан згідно з ГОСТ 25828 або суміш аліфатичних вуглеводнів з такими показниками якості:

За відсутності пального, яке відповідає таким вимогам, допускається використовувати бензин автомобільний з октановим числом не нижче ніж А-92.

Випробовування проводять на відкритому повітрі за швидкості вітру поблизу модельного вогнища не більше ніж 3 м/с і температурі повітря від 10 °С до 25 °С.

Готують робочий розчин піноутворювача і заповнюють ним випробувальний прилад типу вогнегасника згідно з процедурою. Деко модельного вогнища пожежі встановлюють на рівній площині землі і заливають до нього  $(30 \pm 1) \text{ дм}^3$  води і  $(55 \pm 1) \text{ дм}^3$  пального.

#### **Проведення випробовування**

Пальне у деці підпалюють. Під час вільного горіння ствол-генератор піни виносять із зони полум'я. Після  $(60 \pm 5) \text{ с}$  вільного горіння починають подавати піну з навітряного боку на поверхню палаючої рідини із закріпленого на борті дека ствола-генератора. Фіксують тривалість гасіння, що дорівнює проміжку часу від початку подавання піни до припинення горіння. Закривають вентиль балона або від'єднують компресор і скидають тиск у корпусі випробувального приладу типу вогнегасника.



Проводять три досліді. Результат вважається позитивним, якщо тривалість гасіння не перевищує 120 с. У разі позитивного результату гасіння під час перших двох дослідів третій дослід не проводимо.

Показник вогнегасної здатності за класом пожежі В  $Q_B$  у кілограмах на квадратний метр розраховують за формулою:

$$Q_B = \frac{q \cdot \tau}{S}, \quad (4.2)$$

де  $q$  – витрата, яку забезпечує ствол-генератор піни середньої кратності, см<sup>3</sup>/с;

$\tau$  – тривалість гасіння, с.

За результат випробовування приймають середнє арифметичне двох дослідів. Допустима розбіжність між результатами дослідів, одержаними одним оператором за постійних умов випробовування за довірчої імовірності 0,95, не повинна перевищувати  $\pm 10$  % відносно середнього арифметичного значення. Якщо розбіжність між результатами дослідів перевищує вказане значення, потрібно провести додаткові досліді для визначення остаточного результату. Результати досліджень заносимо в табл. 4.2.

Проведені випробування показали, що ПУ Барс S-2 має найкращі показники за всіма параметрами: стійкість, кратність, тривалість гасіння та показник вогнегасної здатності, тому у подальших випробуваннях будемо використовувати цей ПУ, піноутворювач підвищеної стійкості.

Результати випробувань з визначення вогнегасної здатності та тривалості гасіння піною середньої кратності, що утворюється з 6 % водного розчину зразка піноутворювача

Зразок	№ дослідю	Тривалість гасіння, с		Показник вогнегасної здатності, кг/м <sup>2</sup>	
		фактичні значення	середні значення	фактичні значення	середні значення
«Барс S-1» 6%	1	83	82,5	3,2	3,19
	2	82		3,18	
«Барс S-1m» 6%	1	94	96	3,64	3,72
	2	98		3,8	
«Барс S-2» 6%	1	71	72,5	2,74	2,8
	2	74		2,86	
«Альпен»	1	83	82	3,2	3,17
	2	81		3,14	
«Пірена-1»	1	96	97	3,71	3,77
	2	98		3,83	

При великих масштабах пожеж є необхідність ізолювати горючі матеріали від магнію. При нанесенні порошку на поверхню магнію, утворюється ізолювальний шар, з температурою на поверхні порошку від 70 до 200 °С залежно від товщини шару порошку. Після цього наносимо на шар порошку і поверхню горючих матеріалів піну. Піна ізолює горючий матеріал від зони горіння, зменшує дію променевої енергії на горючі матеріали. Ми провели ряд досліджень з визначення стійкості піни та її вогнегасних властивостей при нанесенні піни на вогнище комбінованої пожежі.

В місцях окремих прогарів магнію піна руйнувалась без вибуху, в окремих місцях утворювались прогари у вигляді циліндрів. Спалахів

горючих речовин не відбувалось. Крайні результати показали стійкі піни, особливо Барс S-2 [95, 120].

#### 4.2. Вибір заспокоювача для подавання порошку КМ-2

Для ефективного подавання КМ-2 використовуємо двосторонній заспокоювач описаний в патенті [118]. У випробуваннях заспокоювача брали участь Ковалишин В.В., Марич В.М., Гусар Б.М.

На рис. 4.2 зображено конструкційну схему та розрахункову модель заспокоювача із еліптичним верхом та додатковим еліптичним відбивачем з врахуванням досліджень [103, 112, 118].

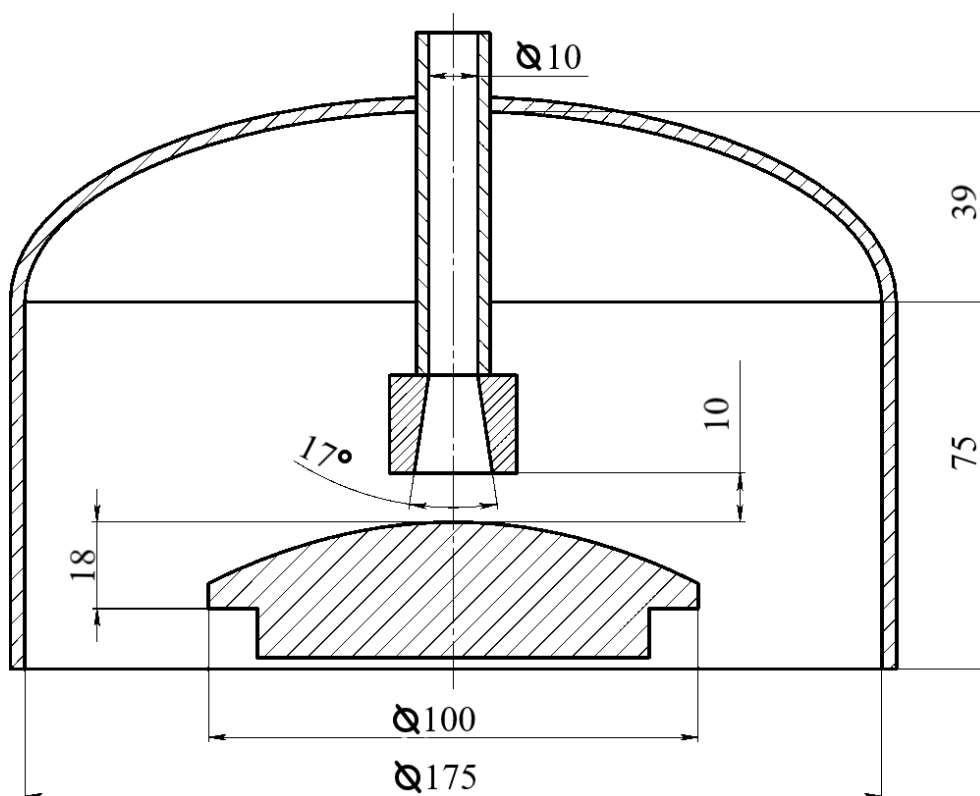
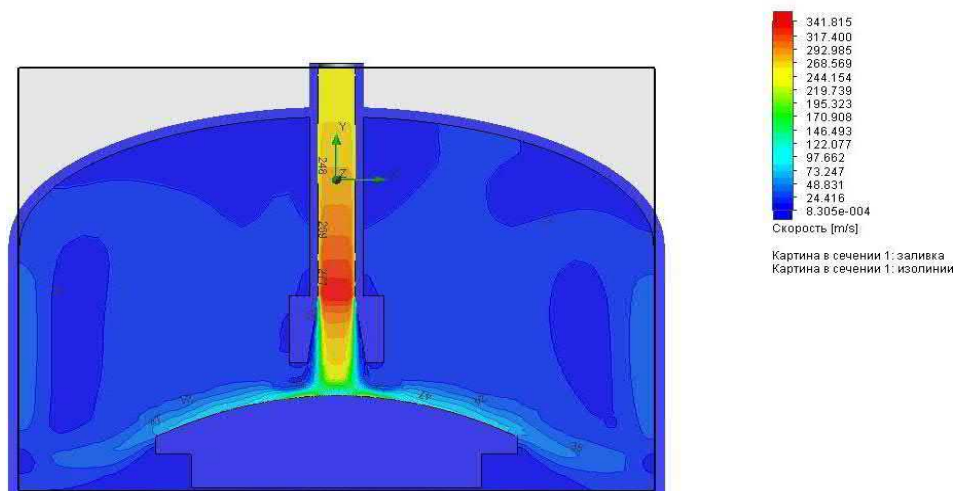


Рисунок 4.2 – Розрахункова модель заспокоювача із еліптичним верхом та додатковим параболічним дзеркалом (відбивачем)

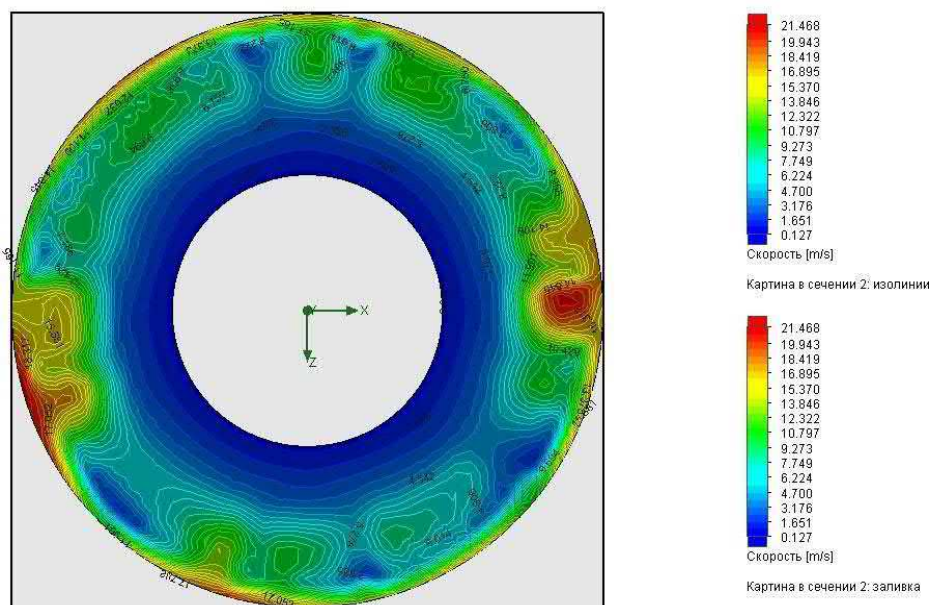
На рис. 4.2, рухоме двофазове середовище, вийшовши із дифузора, вдарятиметься в параболічне дзеркало, а вже від нього підніматиметься вгору

– до еліптичного днища, відбившись від якого розпилюватиметься в навколишнє середовище та попадатиме на об'єкт гасіння.

Така конструкція є більш ефективною, краще сповільнює рух твердої фази і, як наслідок, більше порошку потраплятиме на об'єкт гасіння. Більш детально це описано в [112].



*a*



*б*

Рисунок 4.3 – Хромограма витікання газу: *a* – вертикальний симетричний переріз; *б* – горизонтальний переріз біля виходу

Хромограми витікання газу в обох перерізах корпусу насадки-заспокоювача представлені на рис. 4.3 *а* та рис. 4.3 *б*. Як видно із рис. 4.3 протікання газу є симетричним та турбулентним, а значення його швидкостей зменшилося порівняно з попередніми варіантами 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 4.3 *б*).

Високу та симетричну турбулентність протікання газу зображено на рис. 4.4. Потік газу є досить симетрично закрученим і має добре виражені зони турбулентності, які повинні призводити до гасіння швидкості руху твердої фази рухомого середовища.

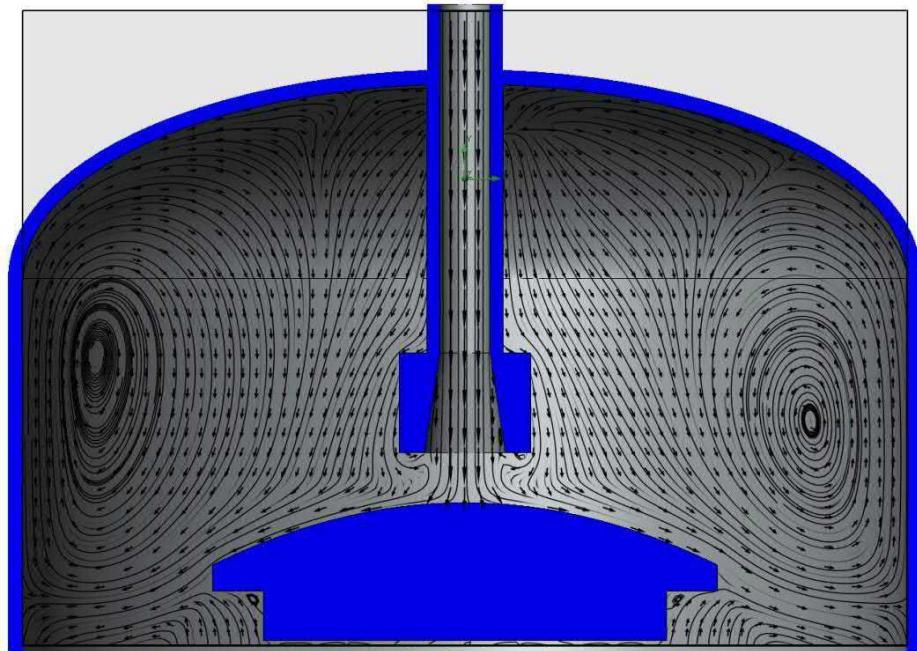


Рисунок 4.4 – Траєкторії руху газу всередині корпусу насадки-заспокоювача із додатковим дзеркалом

Значення швидкості частинок на виході із корпусу насадки-заспокоювача лежить в діапазоні 0,3 – 20 м/с, що в п'ять разів менше ніж у випадку сфери та в чотири рази менше ніж у випадку одного еліпса. Тому у

випробуваннях будемо використовувати кращу насадку-заспокоювач зображену на рис.4.2.

### 4.3. Гасіння комбінованої пожежі класу D, B, A порошком KM-2

Комбінована пожежа має складатись таким чином щоб були присутні тверді горючі матеріали або горючі рідини за наявності магнію [95].

Випробування з гасіння пожеж класу A і D робимо на модельних вогнищах.

При випробуваннях ВП комбінованої дії гасимо окремо модельне вогнище класу D потім B та A. У випадку вдалих спроб гасимо комбіновану пожежу.

Проводимо гасіння пожежі класу D відповідно до Методики [103].

Для гасіння пожежі використовуємо заспокоювач з двостороннім відбивачем.



Рисунок 4.5 – Розгорання сплаву магнію в модельному деку



Рис. 4.6 – Гасіння магнію порошком КМ-2 з використанням насадки-заспокоювача

Вогнегасний порошок двічі відбиваючись від еліпсоподібної поверхні плавно висипається на поверхню горіння, і рівномірно її закриває не розпорошуючи ошурки магнію. Довжина тримача дозволяє оператору знаходитись на безпечній відстані від вогнища.



Рисунок 4.7 – Завершення гасіння пожежі класу D відповідно до проекту методики випробування порошків спеціального призначення для гасіння пожеж класу D

Модельне вогнище класу B представляє собою кругле деко діаметром 0,72 м<sup>2</sup> відповідно до ДСТУ, в яке заливаємо 21л рідини, де 1/3 – вода; 2/3 – пальне марки А-92, тобто 14 л бензину. Для виготовлення порошку використовуємо рецептуру №4 [95, 114]. Дослід виконуємо 3 рази, оскільки за другим разом вогонь не був загашений.





Рисунок 4. 8 – Гасіння модельного вогнища 21В порошком КМ-2

#### **4.4. Гасіння комбінованої пожежі D, B, A порошком КМ-2 та піною підвищеної стійкості**

Наступний дослід – це гасіння комбінованої пожежі з ВВП-50 та ВП-9 зарядженим порошком КМ-2 (рецептура №4).

Готуємо макетну пожежу горіння магнію, дерев'яних ящиків та бензину (рис. 4.9). За легендою горить запалювальна граната начинена магнієм біля складів з боєприпасами, 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 та букового паркету. Ошурки засипаємо в огородження виконане з цегли розмірами 0,5 м на 0,70 м, висота насипання ошурок – 0,25 м. Розпилюємо над ошурками 1 л води. Все це, дерево і ошурки, обливаємо бензином А-92 в кількості 3 л.



Рисунок 4.9 – Комбінована пожежа магнію і деревини

Розпалюємо за допомогою факела магній. Даємо розгорітись магнію на 2/3 площі, в цей час починає горіти ящик-тара. Вільне горіння відбувається 3 хв.

Спочатку подаємо вогнегасний порошок КМ-2 з вогнегасника ВП-9, а потім накриваємо піною підвищеної стійкості можливу площу горіння рис. 4.10. Пірометром вимірюємо температуру горіння з відстані 1,5 м, вона становить 1500 °С. Наносимо порошок на ошурки магнію шаром приблизно 4 см і більше, щоб не було прогарів над ошурками, і як запропоновано у 3 розділі. Переводимо струмінь частково на дерев'яні матеріали, які горять на межі пожеж класу А і D. Пригашуємо горіння дерева. Але тління дерева продовжується, ящикотара, не накрита порошком, горить. Після цього подаємо піну середньої кратності з вогнегасника ВВП-50. Шар порошку над сплавом магнію становить 3,6 см. Адекватність запропонованої математичної моделі становить 60%.



Рисунок 4.10 – Гасіння комбінованої пожежі деревини і магнію після подавання порошку піною підвищеної стійкості

Гасіння макетної пожежі пройшло успішно. Порошок накрив 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 підвищеної стійкості накрили вогнище класу А, горіння дерев'яних брусків, ящиків, паркету. Горіння було ліквідовано на площі 2,5 м<sup>2</sup> стволом ГПС -8 за 45с.

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

#### 4.5. Техніка безпеки, рекомендації з гасіння комбінованих пожеж

Вогнегасний порошок КМ-2 призначений для гасіння пожеж класу D (магнію, алюміній та їх сплавів) 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 °С до 50 °С.

Під час роботи з вогнегасним порошком необхідно користуватися засобами індивідуального захисту, оскільки горіння супроводжується значним тепловим впливом на пожежників під час гасіння сплавів магнію.

$$E = \varepsilon\sigma T^4, \quad (4.3)$$

де  $\varepsilon$  – відносна випромінювальна здатність (для поверхонь полум'я магнію  $\varepsilon=0,9$ ),  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> К<sup>4</sup>) – стала Стефана-Больцмана,  $E$  – потужність випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>, яка пропорційна четвертому степеню абсолютної температури  $T$ , К, і обчислюється з закону Стефана-Больцмана.

Таблиця 4.3

Залежність теплового випромінювання від температури

№ з/п	Температура полум'я магнію, °К	Потужність випромінювання, Е, кВт/м <sup>2</sup>
1	1173	96,6
2	1273	134
3	1473	240
4	1673	399,7
5	1873	628
6	2073	942,4
7	2273	1362

Проаналізувавши отримані розрахункові дані будуємо графік залежності потужності теплового випромінювання від температури полум'я магнію

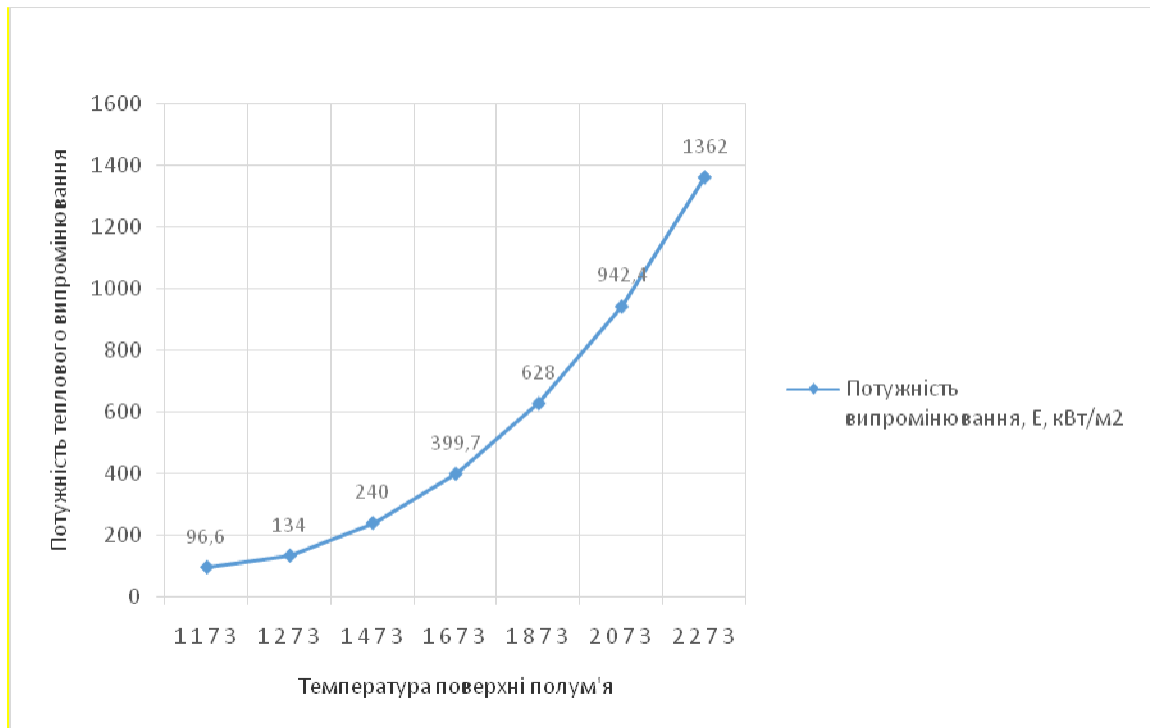


Рисунок 4.11 – Залежність потужності теплового випромінювання від температури полум'я магнію

Графік на рис. 4.11 показує, що тепловий потік дуже великий і без засобів захисту працювати на пожежі небезпечно. Враховуючи дослідження Семерака М.М., Кузика А.Д., Ковалишина В.В. [105-111] визначимо безпечну відстань від полум'я до пожежника-рятувальника з формули 4.4. Результати розрахунку заносимо в таблицю 4.4

$$q = \int_0^{H \cos \alpha} \int_{-r}^r \frac{\varepsilon \sigma T^4 \cdot (y_0 - y)(\cos \alpha (y_0 - y) - \sin \alpha (h - z))}{\pi (x^2 + (y - y_0)^2 + (z - h)^2)^2} \cdot \frac{dx dz}{\cos \alpha}. \quad (4.4)$$

У розрахунок беремо температуру, яка найдовше спостерігалась під час пожежі. При цьому враховуємо можливість нахилу полум'я при 0,15 і 30 градусах. Вибираємо точку найбільшого сприйняття опромінення на висоті 1,2 і 1,5 м. Безпечною відстанню від полум'я висотою 2 м до рятувальника, який працює в теплозахисному костюмі, є 1,27 м.

При висоті полум'я 2,5 м ця відстань збільшується до 2,09 м.

Таблиця 4.4  
Визначення безпечної відстані від полум'я до пожежника в теплозахисному костюмі

Температура поверхні полум'я $T$ , К	Висота полум'я $H$ , м	Висота точки опромінення $h$ , м	Відстань від полум'я $y_0$ , м, на якій тепловий потік становитиме 40 КВт/м <sup>2</sup> для кута нахилу площини $\alpha^\circ$		
			0°	15°	30°
1200	2,0	1,2	1,270	1,548	1,794
		1,5	1,180	1,469	1,661
1200	2,5	1,2	1,411	1,740	2,088
		1,5	1,393	1,755	2,100

#### 4.5.1. Дотримання вимог охорони праці під час гасіння порошками

##### 4.5.1.1 Вимоги безпеки праці під час роботи з вогнегасними порошками

Вогнегасні порошки повинні бути нетоксичні, пожежо і вибухонебезпечні, клас небезпеки не вище 3 за ГОСТ 12.1.007-76, орієнтовний безпечний рівень дії (ОБРД) становить не більше ніж 5 мг / м (куб).

Вогнегасні порошки можуть спричиняти незначне подразнення слизових оболонок, кон'юнктивіти, 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, необхідно забезпечити 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 із не гіршими характеристиками, захисні окуляри та спецодяг. Респіратори повинні бути укомплектовані постійним запасом тампонів. Для захисту рук від порошку доцільно застосувати силіконовий крем за ОСТ 18-21-81 або інший аналогічний.

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

Значно більшого ефекту гасіння вогнегасними порошками можна досягти подаючи 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. Це твердження відноситься і до гасіння з порошкового автомобіля. Оптимальний вогнегасний ефект досягається, коли порошкова хмара переміщається безпосередньо над поверхнею вогнища горіння.

Під час гасіння необхідно використовувати екранувальну здатність порошкової хмари, забезпечити захист пожежників від теплової радіації, що дасть 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 направляти струмінь на ближній фронт горіння, після чого активно обробити порошком всю площу горіння.

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

#### **4.5.2. Заходи безпеки під час роботи з магнієвими сплавами**

В довідники та інструкції з охорони праці під час ліквідації НС з розсипом або займанням магнію вносимо таку інформацію.

##### **Вибухо та пожежонебезпека магнію та його сплавів**

Магній – горючий. Можливе самозаймання на повітрі. Температура самозаймання: компактного металу +650 °С, ошурок +510 °С, пилу +420...440 °С. Нижня концентраційна межа поширення – 10...20 г/м<sup>3</sup>. Займається від іскор та полум'я. 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 °С пил магнію енергійно взаємодіє з азотом, виділяючи тепло. Тому атмосфера азоту не може вважатися інертною.

##### **Необхідні дії**

###### *Загального характеру*

Ізолювати небезпечну зону в радіусі не менше 200 м. Відкоригувати вказану відстань за результатами хім-розвідки. Відвести сторонніх осіб. У небезпечну зону в разі горіння виходити в захисних засобах. Дотримуватися заходів пожежної безпеки. Не курити. Усунути джерела вогню та іскор.



Потерпілим надати першу допомогу, відправити людей з осередку ураження на медобстеження.

#### *У разі розсипу*

Повідомити пожежно-рятувальну службу. Не торкатися до розсипаної речовини. Розсипане огородити ґрунтовим валом. Не допускати потрапляння води. Не допускати потрапляння речовини у водоймища, підвали, каналізацію. Розсипане засипати сухим інертним матеріалом, зібрати в сухі ємності і герметично закрити.

#### *У разі пожежі*

Не використовувати воду! Гасити тільки порошковими сполуками. Засоби гасіння: фтори кальцію, суміш хлоридів і вторидів лужних і лужноземельних металів, сухий пісок. Для гасіння невеликих пожеж придатний польовий шпат, карбонат натрію, бура, інфузорна земля, борна кислота. Необхідно покривати метал, що горить суцільним шаром товщиною не менше 1,5 см. Організувати евакуацію людей із сусідніх будівель з урахуванням напрямку руху токсичних продуктів горіння.

#### *Нейтралізація*

Розсипане зібрати без застосування вологи в суху металеву ємність; герметично закрити і відправити на утилізацію з дотриманням заходів пожежної безпеки.

### **4.6. Висновки до розділу**

1. Проведено аналіз піноутворювачів, та запропоновано для гасіння комбінованих пожеж піноутворювачі підвищеної стійкості, зокрема Барс S-2.
2. Визначено безпечні відстані для пожежників під час гасіння магнієвих сплавів.
3. На підставі проведених дослідів обрано конструкцію заспокоювача для подавання вогнегасного порошку КМ-2 – заспокоювач із еліптичним верхом та додатковим параболічним дзеркалом (відбивачем).

4. Сформульовані основні вимоги безпеки праці під час роботи з вогнегасними порошками. Запропоновано заходи з безпеки праці для внесення у довідники та інструкції з охорони праці під час ліквідації НС з розсипом або займанням магнію.

5. Розроблена технологія комбінованого гасіння пожеж класу D і А, В. Отримано позитивні результати при гасінні макетної пожежі горіння магнію і ящико-тари політої бензином. Вибухів і посилення горіння не спостерігалось, гасіння комбінованої пожежі було досягнуто на загальній площі 2,5 м<sup>2</sup> за 45 с. В місцях окремих прогарів магнію і його сплавів піна руйнувалась без вибуху, у деяких місцях утворювались прогари у вигляді коменів. Спалахів горючих речовин не відбувалось. Кращі результати показали стійкі піни, типу Барс S-2.

6. Вогнегасним порошком КМ-2 погасили модельне вогнище 34В з вогнегасника ВП-2.

Результати досліджень опубліковані в працях [95, 112-116, 118].

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі вирішена актуальна науково-технічна задача – підвищення ефективності пожежогасіння пожеж класу D (магнію, алюмінію та їх сплавів), а також пожеж класу А, В, шляхом розроблення рецептури вогнегасного порошку спеціального призначення та вдосконалення технології комбінованого гасіння пожеж класу D, А, В вогнегасним порошком та піною підвищеної стійкості.

1. Проведено аналіз сучасного стану розробок і застосування вогнегасних порошоків для гасіння пожеж класу D і виявлено шляхи підвищення ефективності пожежогасіння магнію та його сплавів, які полягають у розробці нових D-порошків комбінованої дії та в комбінованому подаванні вогнегасних речовин порошок-піна.

2. Розроблено рецептуру вогнегасного порошку КМ-2 для гасіння комбінованої пожежі D, В, А. Встановлено співвідношення складників вогнегасного порошку, яке забезпечує оптимальну величину інтенсивності подавання. Оптимальним є такі склад вогнегасного порошку: хлорид натрію – 58 %, мелений шлак – 20 % , амофос – 20,5% та аеросил – 1,5%. Покращено властивості вогнегасного порошку додаванням меленого амофосу, стеарату кальцію та аеросилу, які надають вогнегасному порошку термостійкості, ізолювальної, антизлежувальної здатності, текучості та вогнегасної ефективності. 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, А, В.

3. Запропоновано математичну модель, яка описує теплові процеси під час гасіння легких металів вогнегасним порошком. На основі створеної моделі був визначений коефіцієнт тепловіддачі між не обігрівною стороною ізолювального шару вогнегасного порошку та навколишнім середовищем, що

становить  $\alpha = 395,733 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  і досліджена залежність ефективного коефіцієнта теплопровідності від товщини цього шару. Показано, що ця залежність близька до лінійної і може бути описана формулою  $\lambda(\delta) = -0,016 + 93,907 \cdot \delta$ .

4. Розроблено методику розрахунку ізолювального шару при гасінні вогнегасними порошками для досягнення відповідного ізолювального ефекту і на основі цієї методики визначена необхідна товщина шару для вогнегасного порошку КМ-2 –  $\delta = 45,2 \text{ мм}$ .

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

6. Обґрунтовано метод комбінованого гасіння пожеж класу А, В, D порошком КМ-2 та піною підвищеної стійкості. Площа горіння сплавів вкривається шаром ВП товщиною не менше 4 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 ящико-тари, политой бензином. Гасіння комбінованої пожежі було досягнуто на загальній площі  $2,5 \text{ м}^2$  за 45 с. В місцях окремих прогарів ошукрок 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. Кращі результати показали стійкість піни, типу Барс S-2.

7. Сформульовано основні вимоги безпеки праці під час роботи з вогнегасними порошками. Запропоновано заходи з безпеки праці для внесення в довідники та інструкції з охорони праці під час ліквідації НС з розсипом або займанням магнію.

## Список літератури

1. ДСТУ EN 2:2014 Класифікація пожеж. С. 7.
2. Ковалишин В.В., Марич В.М., Ковалишин Вол. В., Лозинський Р.Я. Проблеми гасіння магнію та його сплавів. *Пожежна безпека*. Львів, 2016. №28. С. 58–63.
3. Gusar V., Kovalyshyn V., Pozdieiev S., Kovalyshyn Vol., O. Zemlianskyi, K. Myhalenko. Thermotechnical properties of the fireextinguishing powder for extinguishing materials based on magnesium alloy chips / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol 2, No 10 (104) (2020). P. 46-53.
4. Алюминиевая пудра URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
5. 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.
6. Баратова А.Н., Корольченко А.Я. *Пожаро-взрывопасность веществ и материалов и средства их тушения* : справочник. Книга 1, Москва: Химия, 1990. 495 с.
7. Magnesium-Brand richtet bei Sonneberg Millionenschaden an. URL: <https://www.thueringer-allgemeine.de/web/zgt/leben/blaulicht/detail/-/specific/Magnesium-Brand-richtet-bei-Sonneberg-Millionenschaden-an-1529078490>
8. Способ предотвращения воспламенения металлических порошков. Авт. св. 1690794, кл.А 62 D 1/00).
9. Wilson, C., Plugge, M., and Zallen, D., -Extinguishing Agent for Magnesium Fire: Phase 1 – Evaluation of Existing Agents,|| New Mexico Engineering and Research Institute Report prepared for Air Force Engineering and Services Center, Tyndall Air Force Base, 1983.
10. Колосов Г.Г., Сергиенко К.А., Куценко Г.В. Способ получения универсального огнетушащего порошкового состава *Крупные*

пожары: предупреждение и тушение : матер. 16 науч.-практ. конф. Москва, 2001. Ч. 2. С. 199 – 204.

11. Галикеев А.Р. Определение пожаровзрывоопасных показателей углеродсодержащих отложений при составлении рецептуры огнезащитных красок и создании огнетушащих порошков. *Electronic scientific journal "oil and gas business"*. УГНТУ, 2001.С. 7.
12. Способ определения огнетушащей способности порошковых составов : пат. 871804 А62С 1/00; заявл. 28.11.1979; опубл. 15.10.1981.
13. 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*. Москва, 2017. № 4. С. 45-51.
14. 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. doi:10.15587/2313-8416.2017.116177
15. Масова пожежа на заводі PolMag в Ольшові. Горить 47 тонн магнію. URL: <https://nto.pl/potezny-pozar-fabryki-polmag-w-olszowej-plonie-47-ton-magnezu/ar/8962865>.
16. Вогонь магнію завдає мільйонної шкоди Зоннебергу. URL: <https://www.thueringer-allgemeine.de/web/zgt/leben/blaulicht/detail/-/specific/Magnesium-Brand-richtet-bei-Sonneberg-Millionenschaden-an-1529078490>
17. Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б., Войтович Т.М., Гусар Б.М. Перспективи розвитку пінного гасіння / Інститут державного управління у сфері цивільного захисту, XVI Міжнар. виставковий форум „Технології захисту/ ПожТех – 2017». С. 208-210.
18. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://tsn.ua/ukrayina/160-tonn-otrutohimikativ-zgorilo-v-rezultati-pozhezhi-v-krimu.html>.

19. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<http://www.newsru.ua/ukraine/28apr2010/mg.html>
20. Український науково–дослідний інститут цивільного захисту. Київ, 2016. URL: <http://undicz.dsns.gov.ua/>
21. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.firehouse.com/operations-training/hoselines-water-appliances/article/11300616/firefighter-training-extinguishing-magnesium-fires>.
22. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[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)
23. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://nv.ua/ukr/world/countries/u-nimechchini-horiv-bavarskij-zavod-bmw-2475328.html>
24. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://comments.ua/world/593821-v-madride-iz-za-pozhara-himveshchestv.html>
25. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<http://www.spiegel.de/sport/fussball/em-qualifikation-italien-vs-kroatien-nach-randale-unterbrochen-a-1003289.html>
26. Schmalfuß H. Magnesium erschwert Löscharbeiten an Pkw. *Feuerwehr-Magazin*, 5, 2016, S. 8.
27. Schlüsselmayr Ch. Druckgießerei in Flammen. *Feuerwehr kämpft vier Tage gegen Magnesiumbrand*. *Blaulicht*, 3, 2016. S. 4-8.
28. Buhlemann F. Magnesium-Brand richtet bei Sonneberg Millionenschaden an. *Thüringer Allgemeine*, Ausgabe vom 08.07.2010.
29. Filzen M. Feuerwehr löscht Magnesium-Brand im Essener Hafen mit Sand. *Feuerwehr Essen, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Pressemitteilung* vom 20.10.2015.

30. M. Filzen: Feuerehr-Essen: Feuer in Essener Hafenmühle, brennt gelagertes Aluminiumgranulat. Feuerwehr Essen, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Pressemitteilung vom 23.01.2016.
31. Розенбанд В., Гани А. Синтез порошка диборида магния в режиме теплового взрыва. *Физика горения и взрыва*. 2014, Т. 50. № 6. С. 34–39.
32. Брауэр, К.О. Пиротехнические устройства для космических аппаратов *Вопросы ракетной техники*. 1969. Вып. 10. С. 47–61.
33. Шидловский, А.А. Основы пиротехники. М.: Машиностроение, 1973. 320 с.
34. 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, Україна, 27-29 трав. 2004 р. С. 73–74.
35. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://gordonua.com/ukr/publications/vibuhi-na-skladakh-bojepripasiv-v-ukrajini-istorija-katastrof-179716.html> вибухи на складах боєприпасів. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://espresso.tv/news/2016/02/18/staly\\_vidomi\\_podrobyci\\_vybukhu\\_na\\_skladakh\\_bojepripasiv\\_na\\_zaporizhzhі](http://espresso.tv/news/2016/02/18/staly_vidomi_podrobyci_vybukhu_na_skladakh_bojepripasiv_na_zaporizhzhі).
36. 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.
37. Диринга Х., Майер П., Фехнер Д., Болен Я., Кайнер К. У. Настоящее и будущее магниевых сплавов в нашей цивилизации. *Литейное производство*. 2006. № 1. С. 47.
38. Уоббер, Дж. Металлургия и металловедение плутония и его сплавов М.: Госатомиздат, 1962. 102 с.



39. Rourke, D. J. Magnesium – current status and future prospects [Text]: Proc. Intern. Magnesium Conf. *Conference in conjunction with METER 2000: Magnesium New Business Opportunies*, 2000. P. 14–23.
40. ISO 7165:2017 «Fire fighting – Portable fire extinguishers – Performance and construction, 2017. P. 16.
41. Ливарний сплав на основі магнію: пат. 39358 Україна: МПК С22С 23/00; заявл. 28.08.08; опубл. 25.02.09, Бюл. № 4.
42. Ковалишин В.В. Марич В.М., Кирилів Я.В., Кошеленко В.В., Мірус О.Л. Дослідження хімічних речовин, як складників вогнегасних порошків для гасіння легких металів. *Пожезна безпека: Зб. наук пр.*, №29. Л. 2016. С. 46-56.
43. Пожарная безопасность веществ и материалов, применяемых в химической промышленности: справочник. М. : «Химия», 1970. 336 с.
44. Баратов А. Н., Вогман А.Н. Огнетушащие порошковые составы. М.: Стройиздат, 1982. 72 с.
45. Авторское свидетельство СССР "Способ тушения металлов", № 686598, опубл. 15.09.79, кл. А 62 D 1/00.
46. Патент РФ № 2119368 А62D1/00, 1998 г.
47. Патент РФ № 2143297 А62D1/00, 1999 г.
48. Патент РФ № 2128538, МПК А62D 1/00, з. 02.07.1997 р.
49. Huo, Y., Zhang, Z. G., & Zou, G. W. (2020). Experimental study on the thermal flow characteristics of a columnar sodium fire affected by a small amount of fire extinguishing powder in a cylindrical confined space. *Applied Thermal Engineering*, 114983.
50. Dufaud, Olivier, et al. "Self ignition of layers of metal powder mixtures." *Powder technology* 254 (2014): 160-169.
51. Afzalabadi, Abolfazl, et al. "Study on hybrid combustion of aerosuspensions of boron-aluminum powders in a quiescent reaction medium." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 49 (2017): 645-651.

52. Sharma, T.P., B.S. Varshney, and Surendra Kumar. "Studies on the burning behaviour of metal powder fires and their extinguishment: Part II—Magnesium powder heaps on insulated and conducting material beds." *Fire safety journal* 21.2 (1993): 153-176.
53. Nam, K.H., & Lee, J.S. (2018). Study on the effective response method to reduce combustible metal fire. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 19(12), 600-606.
54. Taveau, J., Vingerhoets, J., Snoeys, J., Going, J., & Farrell, T. (2015). Suppression of metal dust deflagrations. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 36, 244-251.
55. Jiang, Haipeng, et al. "Inhibition evaluation of ABC powder in aluminum dust explosion." *Journal of hazardous materials* 361 (2019): 273-282.
56. Hagge, Harlan, Terry Simpson, and Adam Chattaway. "Vermiculite based fire suppression agent." U.S. Patent Application No. 15/935,620.
57. Zemlianskyi, O., Maladyka, I., Miroschnik, O., Shkarabura, I., & Kaplenko, G. (2017). Forecasting the emergency explosive environment with the use of fuzzy data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(4 (90)), 19–27.
58. Pozdieiev, S., Myhalenko, K., Nuianzin, V., Zemlianskyi, O., & Kostenko, T. (2020). Revealing patterns of the effective mechanical characteristics of cellular sheet polycarbonate for explosion venting panel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/1 (103)), 32–39.
59. Огнетушитель порошковый специальный ОПС-5 URL: <https://www.magazin01.ru/catalog/ognetushiteli/Specialnye-ognetushiteli-klass-D/Ognetushitel-poroshkovyy-specialnyy-OPS-5-z-D-U2/>.
60. Amerex Model B571 Class D Copper Powder Fire Extinguisher, 30 lb URL: <http://www.safetyemporium.com/09592>.
61. Ansul Met-L-X Class D Extinguisher Powder, 50 lb pail URL: <http://www.safetyemporium.com/09450>.

62. Довідник рятувальника на випадок виникнення надзвичайних ситуацій з небезпечними хімічними речовинами. Львів: Сполом, 2012. 377 с.
63. NFPA 484, –Standard for Combustible Metals, National Fire Protection Association, 2006.
64. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2 книгах; кн. 1 / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. М., Химия, 1990. 496 с.
65. Способ тушения металлов: пат. СРСР. № 686598; опубл. 15.09.79, кл.А 62 D 1/00).
66. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля: ГОСТ. Р.12.3.047:98. –Введен 2000-01-01. Госстандарт РФ, 2000. 12 с.
67. Сенчихін Ю.М., Сировий В.В. Довідник керівника гасіння пожежі. Київ, 2016. 320 с.
68. Наказ МВС № 340 від 26.04.2018 «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».
69. H. Kang 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, Vol. 816, pp. 356-361, 2015
70. Tsapko, Y. Evaluation of effectiveness of wood fire protection upon exposure to flame of magnesium [Text] / Y. Tsapko, S. Guzii, M. Remenets, A. Kravchenko, O. Tsapko // Eastern-European Journal Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4, Issue 10 (82). – P. 31–36. doi: 10.15587/1729-4061.2016.73543.

71. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<http://uareferat.com/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D0%B9>
72. Сабинин О.Ю. Экспериментальное изучение влияния технологических свойств порошковых составов на их огнетушащую способность при импульсном способе пожаротушения. *Пожаровзрывобезопасность*. М., 2008. № 6. С. 64-74.
73. Nelson, R., -Extinguishing Agents and Application Techniques for Combustible Metal Fires,|| NFPA Handbook, Chapter 11-7, National Fire Protection Association, 2003.
74. Wilson, C., Tapscott, R., and Zallen, D., -Extinguishing Agent for Magnesium Fire: Phase II – Reformulation and Origination of Extinguishing Agents,|| New Mexico Engineering and Research Institute Report TA3-20 prepared for Air Force Engineering and Services Center, Tyndall Air Force Base, 1985.
75. -Evaluation of a New Liquid Fire-Extinguishing Agent for Combustible Metal Fires,|| Federal Aviation Administration Report DOT/FAA/AR/TN06-26, November 2006.
76. Антонов А. В., Боровиков В. О., Орел В. П. та ін. Вогнегасні речовини : посібн. Київ: Пожінформтехніка, 2004. 176 с.
77. Антонов А. В. Теоретические и практические вопросы разработки огнетушащих веществ в Украине : матер. XVI научн.-практ. конф. Ч. 2. М.: ВНИИПО МВД России, 2001. С. 10-12.
78. НАОП 1.2.20-1.01-86. Правила безпеки при виробництві магнію.
79. Guzewski P., Wróblewski D., Małozieć D., Czerwona Księga Pożarów, Wybrane problemy pożarów oraz ich skutków, CNBOP-PIB, Józefów 2014.
80. 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. (20-21 жовтня 2016 р.). Львів, 2016. С. 304-305.

81. 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.
82. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества: ГОСТ Р 53280.5. 2009. №55. С.11.
83. Огурцов С.Ю., Стилик І.Г., Антонов А.В. Аналіз методів випробувань вогнегасних порошків з визначення їх вогнегасної здатності. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. Київ, 2013, № 1 (27). С. 86-91.
84. 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.
85. 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.
86. Ковалишин В. В., Кріса І. Я., Васильєва О. Е., Кирилів Я. Б. Основи експлуатації вогнегасників: навч. посіб. Львів: СПОЛОМ, 2011. 304 с.
87. Налимов В. В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 207 с.
88. Налимов В. В., Голикова Т. И. Логические основания планирования эксперимента. М.: Изд-во МГУ, 1971. 72 с.
89. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. М.: Легкая индустрия, 1974. 262 с.
90. Душинский В. В., Пуховский Е. С., Радченко С. Г. Оптимизация технологических процессов в машиностроении. Київ: Техніка, 1977. 176 с.
91. Марич В. М. Підвищення ефективності порошкового пожежогасіння магнію та його сплавів [Текст] : дис. канд. техн. наук : 21.06.02 / Держ.

- служба України з надзвич. ситуацій, Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. Львів, 2019. 159 с.
92. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (справочное издание) / Бродский Р. З., и др. М.: Metallurgiya, 1982. 752 с.
93. Сабинин О. Ю., Агаларова С. М. Огнетушащие порошки. Проблемы. Состояние вопроса. *Пожаровзрывобезопасность*. М.: 2007, т.16, № 6. С. 63-68.
94. Гусар Б.М., Ковалишин В.В., Марич В.М., Лозинський Р.Я., Пастухов П.В. Комбіноване гасіння пожеж класу D та A, B / *Пожарна безпека*. 2019. № 35. С. 30-34.
95. Теплопередача: учебн. / Исаченко В.П. и др. изд. 4-е перераб. и дополненное. М.: «Энергоиздат», 1981. 415 с.
96. Мацевитый Ю.М. Обратные задачи теплопроводности: в 2-х т. Київ: Наукова думка, 2002. Т. 1: Методология. 408 с.
97. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980. 263 с.
98. Бизнес и безопасность. №2/2003. С. 77-81.
99. Бизнес и безопасность. №3/2003. С. 78-83.
100. Шароварников А .Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. М.: Знак, 2000. 464 с.
101. Худяков Г. Н. О механизме тушения пожаров горючих жидкостей. Отчёт энерготехнического института АН СССР, 1951 г.
102. Марич В. М., Ковалишин В. В., Мірус О. Л. та ін. Вплив насадок-заспокоювачів на ефективність гасіння пожеж класів D1. *Вісник Львівського університету безпеки життєдіяльності*. 2018. № 17. С. 93-101. doi: 10.32447/20784643.17.2018.13.
103. Проект Методики з визначення ефективності гасіння вогнегасними порошками спеціального призначення. Львів, 20 с.

104. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / пер. с англ. Бомштейна К.Г.; под ред. Кошмарова Ю.А. М.: Стройиздат, 1990. 424с.
105. Мичко А.А., Кузик А.Д., Лин А.С. Математичне моделювання теплового випромінювання для випробовування захисного одягу пожежників-рятувальників. *Пожежна безпека*. Львів, 2009. №14. С. 171-176.
106. Романенко П.Н., Бубырь Н.Ф., Башкирцев М.П. Теплопередача в пожарном деле. М.: Высшая школа МВД СССР, 1969. 425 с.
107. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля: ГОСТ. Р. 12.3.047:98. – [Введен 2000-01-01]. – Госстандарт РФ, 2000. 12 с.
108. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением / пер. с англ.; под ред. Хрусталева Б.А. М: Мир, 1975. 934 с.
109. Семерак М. М., Домінік А. М., Мигаленко М. І., Руденко Д. В. Математичне моделювання та дослідження величини теплового потоку факела пожежі. *Вісник Львівського університету безпеки життєдіяльності*: зб. наук. пр. Львів, 2013. №7. С. 210-217.
110. Ковалишин Вол.В., Семерак М.М., Ковалишин В.В. Персональний сигналізатор небезпечного рівня густини теплового потоку для захисного одягу пожежників. *Пожежна безпека*: зб. наук. пр. Львів: ЛДУ БЖД, 2014. № 24. С. 62-67.
111. 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 Technologies*. 2018. Vol. 5, Issue 5 (95). P. 68-76.
112. Ковалишин В.В., Марич В.М., Войтович Т.М., Гусар Б.М. Використання екологічно прийнятних вогнегасних речовин / *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства*.

- Європейський досвід і перспективи: Матер. III Міжнар. наук.-практ. конф.*, (14 вересня 2018 р.). Львів, 2018. С. 42–43.
113. Гусар Б.М., Федюк Я.І., Ковалишин В.В. Створення безпечних умов при гасінні пожеж класу D / *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (28-29 березня 2019 р.)*. Львів. С. 24-25.
114. Ковалишин В.В., Марич В.М., Гусар Б.М. Аналіз методик випробувань вогнегасних порошків спеціального призначення. *Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах: матеріали 21 Всеукр. наук.-практ. конф. (за міжнародною участю) XVIII Міжнародна спеціалізована виставка— Технології захисту / Пож Тех - 2019* (8 жовтня 2019 р). Київ. С. 122-125.
115. Гусар Б.М., Ковалишин В.В., Марич В.М. Вдосконалення технології гасіння пожеж класу D та A, B / *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матер. X Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнародною участю (29-30 жовтня 2020 р.)*. Черкаси. С. 133-134.
116. Пат. Україна: МКВ А62D 1/00. Вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-1» / В.В. Ковалишин, В.М. Марич, Б.М. Гусар, Вол.В. Ковалишин, Я.Б. Кирилів. № а 2018 01936; заявл. 26.02.2018.
117. Пат. Україна: МКВ А62D 1/01. 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. № а 2018 03705; заявл. 06.04.2018.
118. Патент на корисну модель № 145068 Україна. Вогнегасний порошок спеціального призначення для комбінованого гасіння пожеж класу D,A,B / В.В. Ковалишин, Б.М. Гусар, В.М. Марич, Вол.В. Ковалишин. № u 2019 11577, опубл. 25.11.2020, Бюл. № 22, - 3 с.
119. Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б., Войтович Т.М., Гусар Б.М. Перспективи розвитку пінного гасіння / Інститут державного



управління у сфері цивільного захисту, XVI Міжнар. виставковий форум „Технології захисту/ ПожТех – 2017». С. 208-210.

## **ДОДАТКИ**

**ДОДАТОК А**

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Заступник директора  
 ТзОВ "Науково-виробничого  
 підприємства "Вогнеборець"



Юзьків Т. Б.  
 28 2019 року

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи  
 Гусара Богдана Миколайовича

"Вдосконалення технології гасіння пожеж класу D та A, B"

Комісія в складі:

голова комісії — заступник директора ТзОВ НВП "Вогнеборець"  
 Лозинський А.Т.;

члени комісії: начальник дільниці виготовлення та перезарядки  
 вогнегасників Пігій В.І., старший науковий співробітник Львівського  
 державного університету безпеки життєдіяльності Кирилів Я. Б.,  
 встановила, що матеріали дисертаційної роботи Гусара Богдана  
 Миколайовича на тему: "Вдосконалення технології гасіння пожеж класу D та  
 A, B" використані при розробці вогнегасного порошку спеціального  
 призначення КМ-2 для гасіння пожеж класу D та A, B, а також  
 електроустановок під напругою. Порошок виготовляється за рецептурою  
 дослідженою в дисертації, в яку входить хлорид натрію, мелений шлак,  
 амофос, аеросил. На виготовлення порошку складені ТУ.

Вогнегасний порошок КМ-2 пройшов дослідну експлуатацію та показав  
 свою ефективність.

Голова комісії

Лозинський А. Т.

Члени комісії

Пігій В. І.

Кирилів Я. Б.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи  
Львівського державного університету  
безпеки життєдіяльності

к.т.н., доцент



Дмитро ЧАЛИЙ

2020р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи  
Гусара Богдана Миколайовича

"Вдосконалення технології гасіння пожеж класу D та A, B"

Комісія у складі:

голова комісії – завідувач кафедри промислової безпеки та охорони праці навчально-наукового інституту цивільного захисту ЛДУБЖД, к.х.н., доцент Мірус О.Л.;

члени комісії: Заступник начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУБЖД, к.т.н., доцент Луц В.І., науковий співробітник науково-дослідної лабораторії ЛДУБЖД, к.т.н., Пастухов П.В., встановила, що результати дисертаційної роботи Гусара Богдана Миколайовича на тему: "Вдосконалення технології гасіння пожеж класу D та A, B" за спеціальністю 261 – пожежна безпека (на здобуття наукового ступеня доктора філософії) використовуються у навчальному процесі при викладанні:

– на кафедрі пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт – дисципліни "Пожежна тактика";

– на кафедрі ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій – дисципліни "Пожежна техніка";

– на кафедрі промислової безпеки та охорони праці – дисципліни "Охорона праці у сфері цивільного захисту".

В лекційних курсах навчальних дисциплін використані теоретичні положення та методичні підходи дисертаційної роботи щодо гасіння пожеж класу D та A, B комбінованої подачі вогнегасного порошку спеціального призначення та вогнегасної піни підвищеної стійкості для гасіння легких металів та нафтопродуктів.

Завідувач кафедри

промислової безпеки та охорони праці,

к.х.н., доцент

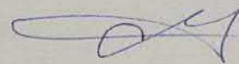


Олександр МІРУС

Заступник начальника кафедри

пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт,

к.т.н., доцент



Василь ЛУЩ

Науковий співробітник

науково-дослідної лабораторії,

к.т.н.



Павло ПАСТУХОВ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник начальника головного  
управління ДСНС України у  
Львівській області із запобігання  
надзвичайним ситуаціям  
полковник служби ц.з.



Оношко О.А.

«17» 08 2020 року

### АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Гусара Богдана Миколайовича

на тему «Вдосконалення технології гасіння пожеж класів (D та A, B)»

Комісія в складі:

голови комісії – начальника управління реагування на надзвичайні ситуації ДСНС України у Львівській області к.т.н. Ущапівського І.Л.;

членів комісії: заступника начальника Сихівського РВ м. Львова ГУ ДСНС України у Львівській області к.т.н. Ковалишина Вол.В., старшого наукового співробітника ЛДУБЖД, к.т.н., с.н.с. Кирилів Я. Б., склала цей акт, яким підтверджується використання результатів дисертаційного дослідження Гусара Б.М. «Вдосконалення технології гасіння пожеж класів (D та A, B)» при гасінні макетних пожеж класу D та A, B) вогнегасним порошкाम спеціального призначення та піною підвищеної стійкості. В якості макетної пожежі було використано 10кг стружки магнію, 50кг пиломатеріалів у вигляді дошок та ящиків (вологість деревини менше 15%).

Використовувався порошок КМ-2 та піноутворювач підвищеної стійкості Барс – 2.

В Україні та закордоном технологія гасіння пожеж легких металів вогнегасними порошками спеціального призначення та піною підвищеної стійкості для комбінованого гасіння пожеж класу D та A, B не достатньо вивчена. Результати досліджень показали, що порошок КМ-2 може і самостійно гасити невеликі комбіновані пожежі класу D та A, B. При більших масштабах пожежі порошком накривають горючий метал, а піною покривають всю поверхню можливого горіння. Піна гасить та ізолює горючі матеріали, поверхню від доступу кисню, перешкоджає проникненню горючих парів до зони горіння.

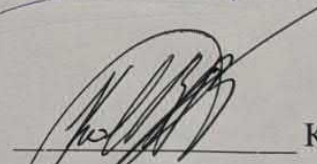
Використання результатів дисертаційної роботи Гусара Б.М. дозволяє покращити ефективність гасіння пожеж легких металів в реальних умовах, де присутні паливо-мастильні та тверді горючі матеріали.

Голова комісії

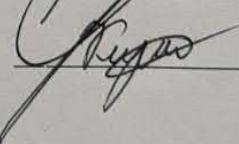


Ущепівський І.Л.

Члени комісії



Ковалишин Вол.В.



Кирилів Я.Б.



**ДОДАТОК Б**

Технічні умови на вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-2»

ТУ У 20.5-41003/20-005:2019

138

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Заступник директора  
ТзОВ «Науково-виробничого  
підприємства «Вогнеборець»  
Лозинський А.Т.  
2020 року



**ВОГНЕГАСНИЙ ПОРОШОК  
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ «КМ-2»  
ОГНЕТУШАЩИЙ ПОРОШОК  
СПЕЦІАЛЬНОГО НАЗНАЧЕННЯ «КМ-2»  
SPECIAL DRY CHEMICAL POWDER «КМ-2»  
ТУ У 20.5-41003720-005:2019**

**РОЗРОБЛЕНО**  
Ад'юнкт Львівського  
державного університету  
безпеки життєдіяльності  
Гусар Богдан Миколайович

*Bohdan Husar*  
« 10 » 02 2020 року

## СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Ці технічні умови поширюються на вогнегасний порошок спеціального призначення «КМ-2» (далі за текстом - вогнегасний порошок), який призначений для гасіння пожеж класу D та А, В (магнію, його сплавів, горючих рідин зокрема нафтопродуктів та твердих горючих речовин ) 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°С до 50°С.

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-2» ТУ У 20.5-4003720-005:2019”.

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, але не рідше одного разу на п'ять років, після надання їм чинності чи останнього перевірвання, 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 «Fire fighting — Portable fire extinguishers — Performance and construction», 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	1020
2.	Насипна густина ущільненого порошку кг/м <sup>3</sup> , не більше	1295
3.	Утримання вологи, % не більше	0,5
4.	Вогнегасна здатність, кг/м <sup>2</sup>	10,5
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 визначення фракцій, г	Розмір вічка, мм	Середнє значення маси порошку за фракціями, г	Середнє значення маси порошку за фракціями, %
1000	до 0,1	155,3	15,53
	0,1 – 0,071	212,4	21,43
	0,071 – 0,045	507,1	50,55
	менше 0,045	125,2	12,49

Як видно із опрацьованих результатів, що кількість порошку фракції до 0.1 мм становить не менше 23%. Такий відсоток порошку є необхідний для того щоб при подачі 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 та А, В (магнію, його сплавів, горючих рідин зокрема нафтопродуктів та твердих горючих речовин).

## **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 по кресленню 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 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. Пакування тари, 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 (+/- 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 пропонуємих змін до складу виробляємої продукції, технології її виготовлення тощо проводять випробування за категорією типових випробувань.

2.1.4. Для сертифікаційних цілей продукції проводять сертифікаційні випробування у відповідності до вимог ISO 7165:2017 «Fire fighting — Portable fire extinguishers — Performance and construction та «Методики з визначення ефективності гасіння вогнегасними порошками спеціального призначення».

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 приймаються 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 тон.

2.2.2. Партія вогнегасного порошку постачається споживачу разом із супроводжувальним документом, які 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 табл. 1; 2.
- термін зберігання.

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

3.1. Вогнегасний порошок транспортують будь-яким видом транспорту в критих засобах за температури від мінус 50°С до 50°С згідно з «Єдиними правилами перевезення вантажів».

3.2. Вогнегасний порошок у мішках транспортують у пакетах з використанням плоских піддонів типу 2П04-800х1200Д за ГОСТ 9078 вантажопідйомністю до однієї тони. Скрипіння пакету на піддоні у відповідності до вимог.

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

3.4. Вогнегасний порошок у споживача повинен зберігатися у зачинених сухих провітрюваних приміщеннях, захищених від атмосферних осадів, в умовах, що забезпечують цілісність упаковки, за температури від мінус 50°С до 50°С 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 даними 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.

**ДОДАТОК В**

Патенти



# ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 145068

**ВОГНЕГАСНИЙ ПОРОШОК СПЕЦІАЛЬНОГО  
ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО ГАСІННЯ ПОЖЕЖ  
КЛАСУ D, A, B**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей  
25.11.2020.

Генеральний директор  
Державного підприємства  
«Український інститут  
інтелектуальної власності»

А.В. Кудін



Корисна модель належить до вогнегасних порошоків спеціального призначення (ВПСП) і може бути використана для гасіння пожеж легких металів (магній, алюміній та їх сплави) D, та пожеж класів А, В, електроустановок під напругою в приміщеннях різного призначення та на відкритому просторі.

5 Пил легких металів займається від іскри і горіння, має характер вибуху. Пил і стружка легких металів і їх сплавів за наявності горючих залишків можуть самозайматись. Ще більш небезпечним є вологий пил легких металів, горіння якого відбувається інтенсивно і має характер вибуху [Ковалишин В.В. Проблеми гасіння магнію та його сплавів / Ковалишин В.В., Марич В.М., Кирилів Я.В., Кошеленко В.В., Мірус О.Л. // Збірник наукових праць "Пожежна безпека", № 28. - Львів: ЛДУБЖД, 2016. - С. 58-63. Оптимізація складу вогнегасних порошоків для гасіння магнію / В.М. Марич, В.В. Ковалишин, Я.Б. Кирилів та ін. Пожежна безпека. 2018. - № 32. - С. 45-54].

15 Можливе займання наелектризованого пилу легких металів, який збирається на стінках витяжних трубопроводів. Пил легких металів електризується від тертя при виконанні шліфувальних робіт. Магній горить сліпучо-білим полум'ям при температурі 2200 °С. Після горіння утворюється порошок білого кольору - магній оксид.

20 На сьогодні для гасіння пожеж класу D найбільш поширені ВПСП на основі хлоридів лужних металів (KCl - Росія, Україна і NaCl - Європа, США). Як вогнегасні склади для металів існує ряд рідинних складів (наприклад, на основі борних ефірів), але вони не набули широкого застосування в практиці пожежогасіння [В.В. Ковалишин. Дослідження хімічних речовин, як складників вогнегасних порошоків для гасіння легких металів / Ковалишин В.В., Марич В.М., Кирилів Я.В., Кошеленко В.В., Мірус О.Л. // Збірник наукових праць "Пожежна безпека", № 29. - Львів: ЛДУБЖД, 2016. - С. 46-56. Антонов А.В., Стилик І.Г. Методи випробувань вогнегасних порошоків з визначення їх вогнегасної здатності за класом пожежі D // Вісник УкрНДІПБ. - 2013. - № 2 (28). - С. 242-248].

25 Основним принципом гасіння легких металів і їх сплавів є створення за допомогою ВПСП захисного повного покриття вогнища горіння, що перешкоджає доступу кисню в зону горіння і не дає розповсюджуватись горінню. Покриття має бути досить щільним, мати необхідну товщину шару порошку по всій поверхні горіння, що досягається при певній питомій витраті порошку ( $\text{кг/м}^2$ ). Практично чистих пожеж класу D не буває. Як правило, загоряється магній, а потім горять горючі речовини, розташовані поряд. Для гасіння пожеж класу А і В важливе значення мають порошки, які є інгібіторами горіння.

30 Відомий "Способ предотвращения воспламенения металлических порошков" [Авторское свидетельство 1690794, кл. А62D 1/00], згідно з яким як вогнегасний засіб використовують порошок з суміші оксиду бору (50-95 мас. %) та високотемпературної добавки, вибраної з ряду оксидів алюмінію, магнію, титану, кремнію. Цей склад ефективніший від відомих серійних складів, оскільки при нагріванні суміші її легкоплавкий компонент (оксид бору має температуру плавлення  $\sim 450$  °С), розплавляючись, формує газонепроникний шар, частинки оксиду в якому відіграють армуючу роль. Вогнегасна здатність такого складу вища ніж у серійних вогнегасних порошоків, але при горінні великих кількостей магнію він швидко прогорає.

40 На відміну від відомого способу [Патент РФ № 2119368 А62D 1/00, 1998 г.], в якому використовують вогнегасний засіб, що складається з суміші оксиду бору з високотемпературною добавкою, взятою в кількості 5-50 мас. %, в запропонованому способі використовується вогнегасний засіб, що складається з суміші ціанурату меламіну в кількості 10-60 мас. % з високотемпературною добавкою, взятою з ряду: оксидів (алюмінію, магнію, титану, кремнію), хлоридів (магнію, натрію, калію), нітридів (бору, алюмінію, кремнію), графіту. При гасінні металів із застосуванням запропонованого способу на поверхню, що горить, наноситься вогнегасний склад, який формує ефективну ізолюючу поверхню завдяки розплавленню і розкладанню ціанурату меламіну (розкладання - 380-420 °С) на аміак, вуглекислий газ і мелем, який в свою чергу при температурі  $\sim 450$  °С розкладається на аміак і мелон, причому останній при температурах понад 600 °С також виділяє аміак і утворює негорючий обвуглений вуглецевий залишок (кокс). Всі реакції розкладання йдуть з поглинанням тепла, що призводить до додаткового охолодження поверхні горіння. Утворені в зоні контакту вогнегасного складу з поверхнею горіння аміак і вуглекислий газ ізолюють поверхню горіння від надходження кисню повітря, чим збільшують ефективність вогнегасної дії шару, який формується з

55 високотемпературної добавки і розплавлених продуктів розкладання ціанурату меламіну. Газоподібні продукти розкладання ціанурату меламіну, в разі виникнення тріщин в ізолюючому шарі і надходження через ці тріщини навколишнього повітря в зону горіння, заповнюють ці тріщини і перешкоджають проникненню туди кисню повітря. У разі, якщо температура аміаку, що виходить з ізолюючого шару, перевищує температуру його займання ( $t_{\text{CB}}=650$  °С), аміак

60

UA 145068 U

U 830311 AU

горить в повітрі з утворенням специфіки гасіння магнію, оскільки аміак і вуглекислий газ сприяють його горінню. На практиці ці вогнегасні речовини для гасіння магнію не можуть бути використані.

Вогнегасний порошковий склад, в якому основним компонентом є хлорид калію (79 %), а як цільові добавки для плинності використовуються: мусковіт (20 %), високодисперсна добавка (0,8 %) і гідрофобізуюча рідина Петрос-2М (0,2 %) [Патент РФ № 2143297 А62D 1/00, 1999 г.], має здатність для гасіння пожеж класу D1.

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

Близьким за складом і призначенням є вогнегасний порошок, що містить, мас. %: біла сажа - 3,5-5,0; алкілгалогалогідсіланова рідина - метилтрихлорсилан - 0,5-1,2; хлорид калію - 93,8-96,0. Порошок використовують для гасіння пожеж класів А2, В, С, D, Е [Патент РФ № 2128538, МПК А62D 1/00, 02.07.1997].

Недоліками останнього аналога з використання білої сажі за ТУ 6-18-184-87 або ГОСТ 18307-78, вологість якої може сягати 6,5 %, що потребує додаткового сушіння, хоча і після сушіння вологість білої сажі становить 4 %. Біла сажа швидко набирає вологу, що може позначитися на злежуваності порошку в процесі зберігання і надалі - на його текучості, а при гасінні магнію - призвести до посилення горіння.

Загальним недоліком вищеописаних складів порошоків є низька питома щільність, що негативно впливає на їхню плинність (висока плинність порошку необхідна для створення оптимальної концентрації вогнегасного засобу за одиницю часу в зоні горіння). Чим нижча питома щільність порошку, тим більша його кількість відноситься з зони горіння висхідними потоками гарячого повітря, так і не взявши участі в процесі гасіння. Крім цього, чим вища питома щільність порошку, тим більша дальність викиду його з вогнегасника, що дає можливість операторові знаходитися на більшій відстані від вогнища горіння, ніж при застосуванні порошку з більш низькою питомою щільністю.

На основі проведеного аналізу авторських свідоцтв та патентів робимо висновок, що гасіння магнію потребує нових вогнегасних складів.

В основу корисної моделі поставлено задачу розробити ефективніший в гасінні та прийнятний за ціною вогнегасний порошок спеціального призначення на основі комплексу NaCl, шлаку (відходів металургійного виробництва) та аеросилу, застосування якого забезпечило б високу вогнегасну ефективність пожеж класів D та А, В електроустановок під напругою.

Поставлена задача вирішується шляхом виготовлення вогнегасного порошку спеціального призначення для комбінованого гасіння пожеж класу D, А, В електроустановок під напругою на основі комплексу NaCl, шлаку (відходів металургійного виробництва) та аеросилу, до складу якого введено амофос, який є інгібітором горіння, при наступному співвідношенні інгредієнтів, мас. %: NaCl-40-55; шлак (відходів металургійного виробництва - CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO та ін.) - 30-50; амофос - 10-15; аеросил - 2-2,5.

Введення до вогнегасного порошку тонко подрібненого шлаку помолу менше ніж 50 мікрон із набагато вищою щільністю дає змогу поліпшити гранулометричний склад порошку, збільшивши при цьому його питому щільність.

Високі об'ємна маса та термостійкість шлаку дають змогу ефективно ізолювати палаючий метал від навколишнього середовища і поверхні, яка не загорілася.

Додавання до рецептури порошку ефективних інгібіторів горіння в порошоквидному стані, типу амофосу, покращить гасіння пожеж класу А і В. Кількість амофосу повинна бути оптимальною, щоб не викликати прогорання порошку при гасінні пожеж класу D.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Вогнегасний порошок спеціального призначення для комбінованого гасіння пожеж класів D, А, В електроустановок під напругою, за наявності легких металів та їх сплавів, який відрізняється тим, що до його складу введений амофос, який є інгібітором горіння і дозволяє гасити пожежі класу А і В, має хорошу термостійкість, досить велику об'ємну вагу, що дає змогу покрити метал ізолюючою щільною кіркою, при наступному співвідношенні інгредієнтів, мас. %:

NaCl	40-55
шлак (CaO, MgO, SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MnO та ін.)	30-50

(11) 145068

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
Державне підприємство  
«Український інститут інтелектуальної власності»  
(Укрпатент)

Цей паперовий документ ідентичний за документарною інформацією та реквізитами електронному документу з електронним підписом уповноваженої особи Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності».

Паперовий документ містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Для доступу до електронного примірника цього документа з ідентифікатором 1588241120 необхідно:

1. Перейти за посиланням <https://sis.ukrpatent.org>.
2. Обрати пункт меню Сервіси – Отримати оригінал документу.
3. Вказати ідентифікатор електронного примірника цього документа та натиснути «Завантажити».

Уповноважена особа Укрпатенту

26.11.2020



І.Є. Матусевич

## ДОДАТОК Д

Список публікацій здобувача за темою дисертації та  
відомості про апробацію результатів дисертації

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Наукові статті у фахових виданнях*

1. Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б., Войтович Т.М., Гусар Б.М. Перспективи розвитку пінного гасіння / Інститут державного управління у сфері цивільного захисту, XVI Міжнар. виставковий форум „Технології захисту/ ПожТех – 2017». С. 208-210.

2. 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

3. 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. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 5, Issue 5 (95). P. 68–76. doi: 10.15587/1729-4061.2018.144874

4. Гусар Б.М., Ковалишин В.В., Марич В.М., Лозинський Р.Я., Пастухов П.В. Комбіноване гасіння пожеж класу D та A, B / Пожежна безпека: Зб. наук. пр. Львів: ЛДУБЖД, 2019. №35. С. 30-34. DOI: 10.32447/20786662.35.2019.05

5. B. Gusar, V. Kovalyshyn, S. Pozdieiev, Vol. Kovalyshyn, O. Zemlianskyi, K. Myhalenko. Thermotechnical properties of the fireextinguishing powder for extinguishing materials based on magnesium alloy chips / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol 2, No 10 (104) (2020). P. 46-53. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.201748.

### *Патенти:*

6. Патент на корисну модель № 145068 Україна. Вогнегасний порошок спеціального призначення для комбінованого гасіння пожеж класу D, A, B / В.В. Ковалишин, Б.М. Гусар, В.М. Марич, Вол.В. Ковалишин. u 2019 11577, опубл.25.11.2020, Бюл. № 22, - 3 с.

*Апробація матеріалів дисертації:*



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

8. Гусар Б.М., Федюк Я.І., Ковалишин В.В. Створення безпечних умов при гасінні пожеж класу D / *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності*: XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (28-29 березня 2019 р.). Львів. С. 24-25.

9. Ковалишин В.В., Марич В.М., Гусар Б.М. Аналіз методик випробувань вогнегасних порошків спеціального призначення / *Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах*: 21 Всеукр. наук.-практ. конф. (за міжнародною участю) XVIII Міжнар. спеціалізована виставка— Технології захисту / Пож Тех - 2019|| (8 жовтня 2019 р). Київ. С. 122-125.

10. Гусар Б.М., Ковалишин В.В., Марич В.М. Вдосконалення технології гасіння пожеж класу D та А, В / *Надзвичайні ситуації: безпека та захист*: Матер. X Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнародною участю (29-30 жовтня 2020 р.). Черкаси. С. 133-134.