



## 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 ошурок 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:  $\lambda(\delta)\frac{\partial\theta}{\partial x}|_{x=0} = \alpha[\theta_1 - \theta_a]$ .

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. 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.

### ***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. и 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:  $\lambda(\delta) \frac{\partial \theta}{\partial x} |_{x=0} = \alpha[\theta_1 - \theta_a]$ .

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.