

**Відгук
офіційного опонента**

доктора технічних наук, старшого наукового співробітника
заступника директора навчально-наукового інституту будівництва,
землеустрою та цивільної інженерії

Харківського національного університету міського господарства
ім. О. М. Бекетова, МОН України
КЛЮЧКИ Юрія Павловича

на дисертацію КОВБАСИ Вікторії Олегівни за темою «Запобігання передчасного пожежонебезпечного займання піротехнічних металізованих сумішей на основі фторопластів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 – Пожежна безпека, галузі знань 26 – цивільна безпека.

Актуальність дисертації, зв'язок з науковими програмами. Під час застосування, транспортування, зберігання піротехнічні вироби на основі металізованих сумішей на основі фторопластів зазнають інтенсивний тепловий вплив під час різних екстремальних ситуаціях, що виникли внаслідок пожеж у складських приміщеннях, де зберігаються вироби або під час їхнього транспортування, за умов пострілу та польоту при запусках виробів у зонах бойових дій. Це насамперед спричиняє передчасне займання та розвиток горіння зарядів сумішей, а також призводить до подальшого пожежонебезпечного руйнування виробів. У численних ситуаціях передчасні вибухонебезпечні спрацьовування піротехнічних виробів спричинили катастрофічні наслідки, тому що процес горіння піротехнічних зарядів, який вже почався неможливо ефективно ліквідувати сучасними засобами пожежогасіння.

З початком повномасштабної збройної агресії проти України загострилася проблема масштабного забруднення територій вибухонебезпечними предметами, зокрема піротехнічними боєприпасами. Через масоване застосування касетних боєприпасів, мінування та наявність нерозірваних снарядів виникає критична потреба в невідкладному гуманітарному розмінуванні, що зумовлено тим, що зазнають інтенсивного зовнішнього впливу, зокрема, термічним впливам у зонах бойових дій, впливам атмосферних умов, що підвищує ризик їхньої детонації.

З огляду на це, тема дисертації щодо запобігання передчасних пожежонебезпечних займань піротехнічних виробів із зарядами сумішей на основі порошків металевих палих та фторопластів, що досягається шляхом встановлення критичних режимів процесів їхнього нагрівання, займання та розвитку горіння і слугує основою для запобігання виникненню пожежі у випадку зовнішніх термічних дій, є нагальною та актуальною.

Тема дисертації пов'язана з виконанням Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2011–2015 роки (розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2010 № 2348-р), згідно з «Угодою про

асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами», що ратифікована на підставі Закону України № 1678-VII від 16.09.2014; «Стратегією розвитку системи технічного регулювання на період до 2025 року», затвердженою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22.09.2021 № 1145-р., а також у рамках виконання науково-дослідної роботи, що виконувалася в Черкаському інституті пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України (ДР № 0224U001538), в якій здобувач був виконавцем.

Ступінь обґрунтованості наукових положень висновків та рекомендацій, які сформульовано у дисертації, достовірність одержаних результатів. Наукові положення та рекомендації роботи викладено достатньо, їх обґрунтованість підтверджується: результатами систематизації, аналізу та узагальнення даних значної кількості сучасних вітчизняних та зарубіжних джерел; відповідністю обраних сучасних фізико-хімічних методів дослідження визначеним меті і завданням роботи; великим обсягом експериментального матеріалу, отриманого із застосуванням стандартного піротехнічного обладнання та сучасних вимірювальних приладів; коректним використанням математичного та експериментально-статистичного моделювання процесів нагріву, займання та розвитку горіння зарядів сумішей на основі системи рівнянь тепло- та масообміну, хімічної кінетики, методів регресійного та кореляційного аналізу, а також чисельно-аналітичних методів розв'язання рівнянь з використанням стандартних пакетів програм; задовільною кореляцією результатів теоретичних та експериментальних досліджень (відносна похибка не перевищує 8...10 %), а також апробацією та практичним впровадженням отриманих результатів досліджень.

Новизна отриманих результатів. Новими та найбільш значущими є наступні положення дисертації.

1. Вперше:

- встановлено закономірності впливу технологічних параметрів сумішей (середнього розміру d_m частинок порошків металевих палив, коефіцієнта надлишку окиснювача α) та зовнішнього тиску P на ключові характеристики процесів займання (температури займання T_z та часу горіння τ_z частинок металевих палив у продуктах розкладу сумішей): зменшення d_m від 310 мкм до 54 мкм, α від 1,5 до 0,5 та збільшення P від 10^5 Па до 10^7 Па підвищує T_z у 1,3...1,8 разу; зменшення d_m від 310 мкм до 54 мкм, збільшення α від 0,5 до 1,5 та P від 10^5 Па до 10^7 Па зменшує τ_z у 1,3...2,9 разу;
- встановлено залежності швидкості розвитку процесу горіння сумішей від підвищених температур нагріву T_0 та зовнішніх тисків P для практично використовуваних діапазонів зміни технологічних параметрів їх зарядів (співвідношення компонентів у суміші, дисперсність, коефіцієнт ущільнення, діаметр заряду суміші, матеріал оболонки): підвищення T_0 від 293 К до 873 К та P від 10^5 Па до 10^7 Па може збільшувати швидкість горіння у 4...6 разів; при деяких діапазонах параметрів спостерігається також значне зменшення

швидкості горіння сумішей (понад у 3...4 рази) та стабілізація процесу, що дозволяє керувати параметрами для запобігання нестійкому та вибухонебезпечному розвитку горіння;

– на отриманій базі теоретично-експериментальних досліджень розроблено науково обґрунтований метод визначення критичних діапазонів зміни параметрів зовнішніх теплових впливів (теплових потоків, часів їхньої дії) та технологічних параметрів зарядів сумішей, що дозволяє запобігати передчасному пожежонебезпечному спрацьовуванню виробів на їх основі в умовах зовнішніх термічних дій.

2. Удосконалено:

– математичні моделі впливу зовнішніх термічних дій на заряди сумішей, які враховують їхню геометричну форму та розміри (плоско-паралельні пластини, прямокутні елементи різної товщини), а також температурні залежності теплофізичних властивостей сумішей (об'ємної теплоємності, коефіцієнта теплопровідності). Це забезпечує точніше визначення критичних параметрів термічних впливів і дозволяє запобігати розвитку пожежонебезпечного стану виробів.

3. Набули подальшого розвитку:

- математична модель процесу горіння двокомпонентних ущільнених сумішей із порошків металевих палив та фторопластів, яка враховує кінетичні характеристики термічного розкладу окиснювачів; закономірності передполум'яного окиснення та горіння частинок металу у продуктах розкладу; термодинамічні розрахунки температури продуктів згорання та вмісту високотемпературного конденсату. Це дозволяє визначати критичні діапазони зміни швидкості горіння сумішей для різних значень технологічних параметрів і зовнішніх термічних впливів, керування якими запобігає вибухонебезпечному розвитку горіння та пожежонебезпечному руйнуванню виробів.

Повнота викладу основних результатів дисертації у наукових фахових виданнях. Основні положення дисертації опубліковано у 17 наукових працях, серед яких 10 статей опубліковано у наукових фахових виданнях України, 2 статті опубліковано у наукових виданнях, що індексуються в наукометричній базі Scopus, 1 стаття в інших виданнях, що додатково відображає результати дисертації, 4 тези доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях, які в достатній мірі висвітлюють результати роботи, що виноситься на захист.

Основні результати теоретичних, експериментальних досліджень та результатів дисертації опубліковано, що підтверджує їх наукову обґрунтованість і відповідність темі дисертації.

Статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus:

1. Koziar N., Kyrychenko O., Kovbasa V., Diadiushenko O. Regulations of the Influence of External Thermal Influences on Speed and Explosive Safe Combustion Modes of Pyrotechnic NitrateMetallized Mixtures with Metal Fluoride. *Key Engineering*

Materials. Fire Safety and Applied Materials. 2023. Vol. 952. P.155-165. (DOI:10.4028/p-o3twMa).

2. Kyrychenko O., Kovbasa V., Kutsenko M., Shkoliar I. Experimental-Statistical Models for Obtaining a Database on the Ignition Temperatures of Metal Fuel Particles in Gaseous Products of Thermal Decomposition of Fluoroplasts-Based Pyrotechnic Mixtures. *Steel, Alloys, Corrosion Protection and Materials Technologies. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland*. 2025. ISSN: 1662-9752. Vol. 1164. P. 145-153. (DOI:10.4028/p-Fmct9Z)

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

3. В. О. Ковбаса. Вплив технологічних параметрів та зовнішніх умов на швидкість розвитку процесу горіння піротехнічних металізованих сумішей на основі фторопластів. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2023. № 2. С. 119–134.

(DOI:10.24025/2306-4412.2.2023.278992).

4. Ковбаса В.О., Кириченко О. В., Куценко М.А., Ващенко В. А., Березовський А.І., Школяр Є. В., Мотрічук Р.Б. Дослідження механізму та розробка моделей розвитку процесу горіння двокомпонентних піротехнічних сумішей металевих пальних з фторопластами в умовах зовнішніх термічних впливів. *ВІСТІ Донецького гірничого інституту*. Дрогобич: ДВНЗ «ДНТУ». 2025. № 1(56). С. 31-47.

(DOI: 10.31474/1999-981X-2025-1-31-46).

5. Козяр Н., Кириченко О., Ковбаса В., Ващенко В., Куценко М., Школяр Є., Ножко І. Визначення процесів займання частинок металевих пальних у продуктах розкладання піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей. *Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»*, Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ. 2024. Том 8 № 2. С. 44–56.

(DOI:10.31731/2524.2636.2024.8.2.44.56)

6. Н. М. Козяр, О. В. Кириченко, В. О. Ковбаса, Є. П. Кириченко, В. А. Ващенко, С. О. Колінько, В. В. Цибулін. Закономірності впливу чинників на швидкість розвитку процесу горіння піротехнічних сумішей на основі кисневмісних окиснювачів та металевих пальних. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2023. № 1. С. 72–81.

(DOI: 10.24025/2306-4412.1.2023.271133).

7. В. О. Ковбаса, О. В. Кириченко, В. А. Ващенко, Є. В. Школяр, М. Г. Томенко, А. А. Хижняк, С. О. Колінько. Експериментально-статистичні моделі для отримання бази даних по швидкостям розвитку процесу горіння піротехнічних сумішей на основі металевих пальних, фторопластів та добавок органічних речовин. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. 2023. Том 7 № 2. С. 119–132.

(DOI: 10.31731/2524.2636.2023.7.2.119.132).

8. N. Kozyar, O. Kyrychenko, V. Kovbasa, V. Vaschenko, S. Kolinko, T. Butenko, V. Tsybulin. Combust model for burning multicomponent pyrotechnic nitrate-metallized mixtures. *Bulletin of Cherkasy State Technological University*. 2023. № 3. С. 69–84.

(DOI: 10.24025/2306-4412.3.2023.284319).

9. Н. М. Козяр, О.В. Кириченко, В.О. Ковбаса, О.О. Дядюшенко, В.А. Ващенко, С.О. Колінько. Визначення критичних значень параметрів зовнішніх термічних впливів на піротехнічні вироби на основі нітратно-металевих сумішей в умовах їх зберігання та транспортування. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2023. № 2(16). С. 42–56. (DOI:10.33269/nvcz.2023.2.42-57).

10. О. Kyrychenko, O. Zemlianskyi, R. Motrichuk, Y. Shkoliar, V. Kovbasa. Thermodynamic calculations for determining the temperature of combustion products of pyrotechnic products based on aluminum-magnesium alloy powder. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. 2023. Том 7 № 1. С. 191–201.

(DOI:10.31731/2524.2636.2023.7.1.191.200).

11. Н. Козяр, О. Кириченко, В. Ващенко, Є. Кириченко, В. Ковбаса, С. Колінько, М. Томенко. Запобігання пожежовибухонебезпечним займанням піротехнічних металізованих сумішей з добавками неорганічних речовин. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. 2022. Том 6 № 2. С. 15–26. (DOI:10.31731/2524.2636.2022.6.2.15-26).

12. Є. П. Кириченко, В. М. Гвоздь, О. В. Кириченко, В. О. Ковбаса, В. А. Ващенко, Т. І. Бутенко. Підвищення стійкості процесу горіння піротехнічних сумішей шляхом введення добавок органічних речовин. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2022. № 3. С. 73–83. (DOI:10.24025/2306-4412.2.2022.263233).

Статті в інших виданнях, що додатково відображають результати дисертації:

13. В. Ковбаса, О. Кириченко, М. Куценко, В. Ващенко, А. Березовський, Є. Школяр, М. Томенко. Керована база даних по часам згорання частинок металевих палих в продуктах термічного розкладання піротехнічних металізованих сумішей на основі фторопластів. *Збірник наукових праць Національного університету Цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»*. 2025. Том 9 № 1. С. 76-85.

(DOI:10.52363/2524-2636.2025.9.1.7).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

14. В. Ковбаса, Є. Кириченко, Є. Школяр, А. Хижняк. Аналіз швидкостей горіння піротехнічних сумішей з урахуванням компонентів, таких як металеві пали, фторопласти та органічні добавки, за допомогою розробки експериментальних статистичних моделей і створення бази даних. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист. Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю*. Черкаси. 2023. С. 120 – 122.

15. Ковбаса В. О., Кириченко О. В. Закономірності впливу широкого класу добавок речовин на швидкість горіння піротехнічних сумішей. *Проблеми*

пожежної безпеки 2022 (Fire Safety Issues 2022). Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків. 2022. С. 25 – 26.

16. Н. Козяр, В. Ковбаса, Є. Кириченко, О. Дядюшенко, Д. Георгієвський. Критичні значення параметрів зовнішніх термічних впливів на піротехнічні вироби на основі нітратно-металевих сумішей в умовах транспортування. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист. Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю*. Черкаси. 2023. С. 126 – 127.

17. Ковбаса В. О., Кириченко О. В. Визначення закономірностей впливу теплового потоку на поверхні піротехнічних виробів. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю*. Черкаси. 2022. С. 33 – 35.

Основні теоретичні розрахункові та експериментальні результати отримано здобувачем самостійно. Наукові положення, що виносяться на захист, та висновки дисертаційної роботи належать автору.

У роботах, які опубліковано у співавторстві:

– у науковій праці «Підвищення стійкості процесу горіння піротехнічних сумішей шляхом введення добавок органічних речовин» здобувачем проведено аналіз добавок органічних речовин, що використовуються в технічному виробництві для проведення досліджень, обрано добавки, що здійснюють найбільш значний вплив на швидкість і режими розвитку процесу горіння сумішей;

– у науковій праці «Експериментально-статистичні моделі для отримання бази даних по швидкостям розвитку процесу горіння піротехнічних сумішей на основі металевих палих, фторопластів та добавок органічних речовин» здобувачем проведено експериментальні дослідження залежностей швидкості горіння сумішей від технологічних параметрів та зовнішніх умов (температури нагріву, складу, тиску та ін.);

– у науковій праці «Дослідження механізму та розробка моделей розвитку процесу горіння двокомпонентних піротехнічних сумішей металевих палих з фторопластами в умовах зовнішніх термічних впливів» здобувачем встановлено механізм горіння двокомпонентних ущільнених сумішей з порошків металевих палих та фторопластів, а також розроблено математичну модель їх горіння в умовах зовнішніх термодій, що дозволяє визначати закономірності впливу технологічних параметрів та зовнішніх умов на стійкі вибухобезпечні режими розвитку горіння сумішей;

– у науковій праці «Керована база даних по часам згоряння частинок металевих палих в продуктах термічного розкладання піротехнічних металізованих сумішей на основі фторопластів» здобувачем проведено експериментальні дослідження впливу технологічних параметрів та зовнішніх умов на час згоряння частинок металевих палих в продуктах розкладання піротехнічних сумішей на основі фторопластів;

– у науковій праці «Запобігання пожежовибухонебезпечним займанням піротехнічних металізованих сумішей з добавками неорганічних речовин»

здобувачем проаналізовано методи експериментально-статистичного моделювання з використанням спеціалізованих пакетів прикладних програм для проведення розрахунків;

– у науковій праці «Закономірності впливу різних чинників на швидкість розвитку процесу горіння піротехнічних сумішей на основі кисневмісних окиснювачів та металевих пальних» здобувачем проаналізовано наявні дані по впливу розглядуваних чинників на швидкість розвитку процесу горіння інших металізованих піротехнічних сумішей для співставлення з отриманими даними;

– у науковій праці «Визначення критичних значень параметрів зовнішніх термічних впливів на піротехнічні вироби на основі нітратно-металевих сумішей в умовах їх зберігання та транспортування» здобувачем було визначено критичні значення параметрів зовнішніх термічних впливів (теплового потоку, часу його дії) для різних технологічних параметрів;

– у науковій праці «Визначення процесів займання частинок металевих пальних у продуктах розкладання піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металевих сумішей» здобувачем було проведено експериментальні дослідження температури займання та часу індукції частинок металевих пальних у продуктах розкладання сумішей;

– у науковій праці «Combustion model for burning multicomponent pyrotechnic nitrate-metallized mixtures» здобувачем було проведено експериментальні дослідження фізико хімічних процесів, що протікають у різних зонах горіння сумішей;

– у науковій праці «Regulations of the Influence of External Thermal Influences on Speed and Explosive Safe Combustion Modes of Pyrotechnic Nitrate Metallized Mixtures with Metal Fluoride» здобувачем розроблено розрахункові методи визначення критичних значень швидкості горіння сумішей при різних зовнішніх умовах, перевищення яких призводить до вибухонебезпечного руйнування виробів;

– у науковій праці «Experimental-Statistical Models for Obtaining a Database on the Ignition Temperatures of Metal Fuel Particles in Gaseous Products of Thermal Decomposition of Fluoroplasts-Based Pyrotechnic Mixtures» здобувачем проведено експериментальні дослідження по впливу технологічних параметрів та зовнішніх умов на температуру займання частинок металевих горючих в продуктах розкладання піротехнічних сумішей на основі фторопластів;

– у науковій праці «Thermodynamic calculations for determine the temperature of combustion products of pyrotechnic products based on aluminum-magnesium alloy powder» здобувачем проведено термодинамічні розрахунки температури продуктів згоряння суміші, вмісту в них високотемпературного конденсату для різних значень технологічних параметрів та зовнішніх умов, що дозволяє шляхом контролю за їх рівнем підвищувати пожежовибухобезпечні властивості сумішей при застосуванні виробів;

– у науковій праці «Аналіз швидкостей горіння піротехнічних сумішей з урахуванням компонентів, таких як металеві пальні, фторопласти та органічні добавки, за допомогою розробки експериментально-статистичних моделей та

створення бази даних» здобувачем розроблено та експериментально-статистичні моделі для визначення діапазонів зміни критичних значень швидкості горіння сумішей в умовах зовнішніх термічних дій;

– у науковій праці «Закономірності впливу широкого класу добавок речовин на швидкість горіння піротехнічних сумішей» здобувачем експериментально визначено ступінь впливу широкого класу добавок органічних речовин (парафіну, стеарину, нафталіну, антрацену, ідитолу, уротропіну та ін.) на залежності швидкості горіння сумішей на основі фторопластів від підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків;

– у науковій праці «Критичні значення параметрів зовнішніх термічних впливів на піротехнічні вироби на основі нітратно-металевих сумішей в умовах транспортування» здобувачем розроблено методи визначення критичних значень технологічних параметрів в умовах зовнішніх термовпливів на заряди ущільнених сумішей з порошків металевих палих та фторопластів різної геометричної форми та розмірів;

– у науковій праці «Визначення закономірностей впливу теплового потоку на поверхні піротехнічних виробів» здобувачем розроблено математичні моделі теплового впливу на поверхню металевих оболонок піротехнічних виробів на основі ущільнених сумішей з порошків металевих палих та фторопластів в умовах їх зберігання або транспортування з урахуванням впливу зовнішніх термічних дій.

Оцінка змісту дисертації її завершеність в цілому відповідність встановленим вимогам оформлення дисертації. Дисертація складається з анотації, змісту, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи становить 287 сторінок, з них обсяг основного тексту 177 сторінок, 101 рисунок, 42 таблиць, список використаних джерел складає 165 найменувань та займає 24 сторінки, а також 2 додатків на 16 сторінках. Зміст та структура дисертації дає змогу послідовно та повністю розкрити суть усіх отриманих у роботі результатів дослідження.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, завдання дослідження, представлено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, представлено особистий внесок здобувача та надано дані щодо апробації результатів дисертації.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено ґрунтовний аналіз стану питання пожежної безпеки піротехнічних виробів із зарядами металізованих сумішей на основі фторопластів, які піддаються зовнішнім термодіям при їх зберіганні, транспортуванні та застосуванні. Здійснено аналіз світового досвіду щодо надзвичайних ситуацій, пов'язаних із пожежо- та вибухонебезпечним руйнуванням піротехнічних виробів за останні десятиліття. Доведено, що за умов пожежі інтенсивний термічний вплив на піротехнічні вироби призводить до їхнього передчасного самозаймання. За підвищених температур та тиску процес горіння зарядів набуває вибухонебезпечного характеру, що призводить до пожежонебезпечного руйнування навколишніх об'єктів, наносить значні матеріальні збитки та призводить до загибелі людей.

Встановлено, що актуальним питанням є підвищення пожежної безпеки піротехнічних виробів при їхньому зберіганні, транспортуванні та застосуванні в умовах зовнішніх термічних дій, що досягається шляхом запобігання передчасних пожежовибухонебезпечних руйнувань виробів. Проаналізовано існуючі результати теоретичних та експериментальних досліджень процесу займання та розвитку горіння піротехнічних металізованих сумішей на основі фторопластів, що входять у склад піротехнічних виробів. В дисертації достатньо обґрунтовано сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі роботи представлено загальну методологію проведення експериментальних та теоретичних досліджень з використанням стандартного піротехнічного обладнання, сучасних методів фізико-хімічного аналізу та методів математичного та експериментально-статистичного моделювання, а також чисельних методів рішення інженерних задач, стандартного програмного забезпечення у вигляді пакетів прикладних програм.

У третьому розділі роботи представлено розроблено нелінійні нестационарні математичні моделі нагріву виробів зовнішніми тепловими потоками у частині врахування температурних залежностей теплофізичних властивостей заряду суміші та врахування впливу основних параметрів термовпливів: величини теплових потоків від зовнішніх джерел тепла та часів їхньої дії. Розроблено математичні моделі нагріву поверхонь зарядів з різних матеріалів, за допомогою яких проведено дослідження процесу нагріву виробів в умовах їхнього зберігання або транспортування. На основі проведених експериментальних досліджень фізико-хімічних процесів, що протікають у різних зонах горіння двокомпонентних ущільнених сумішей з порошків металів та фторопластів, розроблено модель їхнього горіння в умовах зовнішніх термічних дій, яка враховує нові дані про високотемпературне окиснення, займання та горіння частинок металів у продуктах термічного розкладання окиснювачів. На основі проведених досліджень були встановлені критичні діапазони зміни швидкості горіння сумішей при підвищених температурах нагріву та зовнішніх тисках для різних діапазонів зміни технологічних параметрів, перевищення яких спричиняє вибухонебезпечний розвиток горіння сумішей та пожежонебезпечне руйнування виробів.

У четвертому розділі представлено нові експериментальні дослідження з визначення нових закономірностей впливу на температуру займання та час горіння частинок порошків металів у продуктах розкладання піротехнічних металізованих сумішей на основі фторопластів. Наведено нові дані по впливу температури нагріву та зовнішнього тиску на швидкість їх горіння для сумішей $Mg + \Phi - 3$ та $Al + \Phi - 3$. Наведено нові дані про вплив на залежності швидкості горіння таких технологічних параметрів як природа та величина добавок органічних речовин, коефіцієнт ущільнення суміші, діаметр і заряду, матеріал оболонки тощо. А також представлено нові експериментально-статистичні моделі, які забезпечують можливість підвищення пожежної безпеки піротехнічних виробів на стадії виготовлення шляхом цілеспрямованого регулювання технологічних параметрів в умовах їхнього зберігання,

транспортування та застосування. Це дозволяє формувати базу розрахункових даних (з відносною похибкою 4...7 %), які кількісно описують вплив ключових технологічних параметрів на швидкість розвитку процесу горіння сумішей за умов зовнішніх термічних впливів. Вперше встановлено, що регулювання технологічних параметрів сумішей на етапі їхнього виготовлення дозволяє запобігати нестійким, вибухонебезпечним режимам розвитку горіння в умовах зовнішніх термічних впливів, які призводять до передчасного пожежонебезпечного руйнування виробів. Це реалізується шляхом керованої зміни швидкості горіння сумішей (або часу дії виробів в умовах їхнього бойового застосування) без необхідності зміни тактико-технічних показників піротехнічних виробів на основі металізованих фторопластовмісних сумішей.

У п'ятому розділі на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вперше розроблено науково обґрунтований метод визначення критичних діапазонів зміни параметрів зовнішніх термічних впливів та керованих технологічних параметрів зарядів сумішей на стадії їхнього виготовлення. Зазначений метод було впроваджено у організаціях та на підприємствах України у вигляді засобів контролю та технологічних рекомендацій. Це дало змогу на стадії виготовлення піротехнічних виробів шляхом керування технологічними параметрами зарядів сумішей (співвідношення компонентів, дисперсності металевого пального, фторопластів та добавок органічних речовин) збільшити температуру та часу затримки їх займання у 1,2...1,7 рази та знизити ймовірність виникнення пожежовибухонебезпечних руйнувань виробів при зберіганні та транспортуванні з врахуванням зовнішніх термічних впливів у 1,5...2,0 рази. Практична цінність результатів підтверджується їх впровадженням у навчальний процес Національного університету цивільного захисту України при здійсненні підготовки фахівців для ДСНС України за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» освітнього рівня «доктор філософії», «магістр» та за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» освітнього рівня «бакалавр».

Тема та зміст дисертаційної роботи відповідає спеціальності 261 – Пожежна безпека.

Оцінка та відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.

Зміст дисертації відповідає чинним вимогам до оформлення дисертації з галузі знань 26 - Цивільна безпека, спеціальності 261 - Пожежна безпека та відповідає темі дисертації.

Дисертація за змістом відповідає спеціальності 261 - пожежна безпека. Обсяг та оформлення дисертації є такими, що відповідають вимогам наказу МОН України «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» від 12.01.2017 р. № 40 (зі змінами). Перелік опублікованих праць за темою дисертаційного дослідження в повному обсязі відображає зміст дисертації.

Практична цінність дисертації полягає у розробленні та впровадженні:

Результати дисертації успішно впроваджено на низці промислових підприємств України. Впровадження реалізовано у формі розроблених засобів контролю та технологічних рекомендацій. Розроблено науково обґрунтований метод визначення критичних діапазонів зміни параметрів зовнішніх термодій на заряди сумішей, характеристик розвитку їх горіння та керованих технологічних параметрів, перевищення яких може призвести до пожежонебезпечного руйнування виробів. Це забезпечило підвищення пожежної безпеки піротехнічних виробів (таких як тверді піротехнічні палива для прямоточних повітряно-реактивних двигунів (ПВРД), запалювальні засоби та ін.) в умовах зовнішніх термічних впливів більш ніж у 2 рази. Крім того, окремі наукові результати застосовуються в навчальному процесі у закладі вищої освіти України, що сприяє підготовці висококваліфікованих фахівців у галузі пожежної безпеки.

Результати дисертації, теоретичні положення, експериментальні дані та розроблений метод знайшли практичне використання та впровадження на підприємствах та організаціях України, а також впроваджено в діяльність ДСНС України: Державний центр сертифікації ДСНС України (акт впровадження від 21.11.25); ГУ ДСНС України у Полтавській області (акт впровадження від 25.11.25); ТОВ «Науково-виробнича фірма «Адрон» (акт впровадження від 10.11.25); ДП «Науково-дослідний інститут «Квант» (акт впровадження від 17.11.25). Отримані у дисертації теоретичні та експериментальні дані використовуються в освітньому процесі Національного університету цивільного захисту України при здійсненні підготовки фахівців для ДСНС України за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» освітнього рівня «доктор філософії», «магістр» та за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» освітнього рівня «бакалавр» (акт впровадження від 12.02.2024 р.).

Оцінка мови і стилю дисертації.

Стиль викладу матеріалу характеризується високим рівнем науковості, системністю та об'єктивністю. Логіка побудови розділів повністю відповідає черговості вирішення дослідницьких завдань. Сформульовані положення базуються на ґрунтовній аргументації та підкріплені актуальними практичними прикладами.

Відсутність порушення академічної доброчесності.

Ознак порушення академічної доброчесності в дисертації та публікаціях не виявлено. Матеріал не містить елементів фабрикації або навмисного викривлення (фальсифікації) даних.

Відповідність змісту дисертаційної роботи спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.

Зміст роботи відповідає чинним вимогам до оформлення дисертації з галузі знань 26 - Цивільна безпека, спеціальності 261 - Пожежна безпека.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації.

Позитивно оцінюючи високий науковий рівень та практичну значущість дисертації, варто водночас висловити певні недоліки та зауваження. До недоліків та зауважень по дисертації Ковбаси Вікторії Олегівни можна віднести наступне.

1. У роботі доцільно було б спочатку сформулювати узагальнені критерії, що характеризують пожежну безпеку піротехнічних виробів із сумішами на основі фторопластів при їх зберіганні, транспортуванні та застосуванні з врахуванням впливу зовнішніх термодій.

2. При дослідженні процесу нагріву зарядів сумішей в умовах зовнішніх термічних дій слід було б розглянути й інші типи використовуваних зарядів (наприклад, конусоподібні, багатопарові тощо) з оболонками з різних матеріалів (наприклад, картон, пластмаса тощо).

3. При термодинамічному аналізі процесу горіння сумішей недостатньо повно представлено залежності температури та складу продуктів згорання сумішей від співвідношення компонентів та зовнішнього тиску, що знижує ефективність управління їх максимальними значеннями які відповідають за пожежобезпечне спрацьовування сумішей у штатних умовах застосування виробів.

4. При експериментальних дослідженнях процесу займання та розвитку горіння розглянутих сумішей в умовах підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків не розглянуто вплив інших чинників: коефіцієнта ущільнення суміші, матеріалу оболонки, діаметру та висоти заряду тощо.

5. У математичній моделі процесу горіння суміші не враховуються температурні залежності теплофізичних властивостей їх зарядів (об'ємної теплоємності, коефіцієнта теплопровідності), а також радіаційні тепловтрати.

6. У роботі існують деякі неточності у представленні матеріалу:.

- не зовсім вдале розміщення окремих ілюстративних матеріалів та деяких таблиць, відсутність їх об'єднань;
- зустрічаються певні неточності при формулюванні наукових положень, а також поодинокі стилістичні та технічні огріхи в оформленні таблиць і рисунків.

Проте зазначені зауваження мають переважно дискусійний або технічний характер, тому не применшують наукову значущість дисертації та не впливають на загальну позитивну оцінку представленої дисертації.

Висновки. Представлена дисертація є завершеною працею, в якій отримано нові науково-обґрунтовані результати. У дисертації вирішено конкретну науково-технічну задачу в галузі пожежної безпеки, яка полягає у розвитку наукового підґрунтя щодо запобігання передчасних пожежонебезпечних займань піротехнічних виробів із зарядами сумішей на основі порошків металевих пальних та фторопластів, що досягається шляхом встановлення критичних режимів процесів їхнього нагрівання, займання та розвитку горіння, що слугує основою для запобігання виникненню пожежі у випадку зовнішніх термічних дій. Це має суттєве значення для реалізації державних та галузевих проектів щодо забезпечення пожежної безпеки загальнопромислових

піротехнічних виробів при їх зберіганні, транспортуванні та застосуванні з врахуванням впливу зовнішніх умов.

Своєю тематичною спрямованістю представлена дисертація відповідає спеціальності 261 – Пожежна безпека та галузі знань 26 – Цивільна безпека.

За актуальністю, науковим рівнем розробок та їх практичним втіленням, наявністю необхідних кількості та обсягу публікацій дисертація Ковбаси Вікторії Олегівни «Запобігання передчасного пожежонебезпечного займання піротехнічних металізованих сумішей на основі фторопластів» повністю відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (зі змінами) та Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44), а її автор Ковбаса Вікторія Олегівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 – Пожежна безпека, галузі знань 26 – Цивільна безпека.

Офіційний опонент

Заступник директора навчально-наукового
інституту будівництва, землеустрою
та цивільної інженерії
Харківського національного університету
міського господарства
ім. О. М. Бекетова, МОН України
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

Юрій КЛЮЧКА

16.01.2026р

Підпис	Ю. Ключка
Засвідчую:	Ковбаса Вікторія Олегівна
відд. калрі	16.01



Ковбаса
Вікторія
Олегівна