

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Національного університету
цивільного захисту України
генерал-майор

кандидат педагогічних наук, доцент
Заслужений працівник освіти України



Ігор ТОЛОК
2025 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
докторської дисертації

КОЗЯРА Назарія Михайловича

за темою: «Розвиток наукових основ попередження
пожежовибухонебезпечного займання піротехнічних
багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей в умовах
зовнішніх термічних дій»,

поданої на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук
за спеціальністю 21.06.02 - пожежна безпека

Рецензенти: доктор технічних наук, професор, професор кафедри спеціальної хімії та хімічної технології факультету оперативно-рятувальних сил Національного університету цивільного захисту України **КІРЄЄВ Олександр Олександрович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри спеціальної хімії та хімічної технології факультету оперативно-рятувальних сил Національного університету цивільного захисту України **СКОРОДУМОВА Ольга Борисівна**, доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціальної хімії та хімічної технології факультету оперативно-рятувальних сил Національного університету цивільного захисту України **ШАРШАНОВ Андрій Янович**, розглянувши докторську дисертацію **КОЗЯРА Назарія Михайловича** «Розвиток наукових основ попередження пожежовибухонебезпечного займання піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей в умовах зовнішніх термічних дій», поданої на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 - пожежна безпека, наукові публікації, в яких висвітлені основні наукові результати докторської дисертації, підготували висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації.

1. Дисертаційна робота **КОЗЯРА Назарія Михайловича** на тему «Розвиток наукових основ попередження пожежовибухонебезпечного займання піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей в умовах зовнішніх термічних дій» є завершеною кваліфікаційною

науковою працею, підготовленою у вигляді рукопису, яка відповідає чинним нормативним вимогам щодо докторської дисертації за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека. За обсягом, актуальністю, рівнем наукової новизни та практичної цінності робота відповідає вимогам п. 7- 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року.

2. Актуальність теми та її зв'язок з науковими програмами, планами, темами.

В наш час в державі широко застосовуються різноманітні піротехнічні вироби загальнопромислового та спеціального призначення. Такі вироби слугують для отримання спеціальних ефектів, зокрема світлових, теплових, звукових, кольорово-полум'яних, реактивних тощо. До таких виробів відносяться спалахувальні та займисті засоби, піротехнічні ІЧ-випромінювачі, трасувальні вироби, фейерверкові вироби, пристрої ракетно-космічної техніки. Зазначені піротехнічні вироби мають в основі заряди, які складаються з багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей: ущільнених сумішей з порошків металевих палих (Mg, Al, Ti, Zr тощо), нітратовмісних окиснювачів (NaNO_3 , KNO_3 , $\text{Ba(NO}_3)_2$, $\text{Sr(NO}_3)_2$ тощо), добавок органічних (парафіну, стеарину, нафталіну, антрацену, уротропіну, метальдегиду, каніфолі, ідитолу тощо) та неорганічних речовин (фториди металів (LiF , NaF , BaF_2 , SrF_2 , AlF_3 тощо)). Ці вироби в умовах застосування (при зберіганні, транспортуванні та використанні) мають наслідки зовнішніх термічних впливів при інтенсивному нагріві під час пожежі у складських приміщеннях, де зберігаються вироби або при їх транспортуванні, а також термоударних впливів при запуску та польоті виробів. При дії зовнішніх термічних впливів на заряди багатокомпонентних піротехнічних сумішей із порошків металевих палих, нітратовмісних окиснювачів, добавок органічних та неорганічних речовин відбувається їх термічне розкладання із утворенням активних, газоподібних продуктів, у середовищі яких частинки металів інтенсивно окислюються з виділенням значної кількості тепла, спалахують та згоряють в умовах зростаючих температур нагріву та зовнішніх тисків під металевими корпусами виробів. В результаті процес горіння заряду суміші різко прискорюється та переходить у вибух із подальшими пожежонебезпечними руйнуваннями виробів. В таких умовах відбувається передчасне спрацювання зарядів сумішей, які входять до складу виробів, та прискорення процесу їх горіння в умовах замкненого об'єму при зростанні температури нагрівання та зовнішнього тиску, що передбачає пожежовибухонебезпечний режим його протікання. Ці умови призводять до руйнування корпусів виробів і виникнення небезпечних чинників пожежі: полум'я або високотемпературного струменю продуктів згоряння, диспергованих продуктів згоряння, уламків корпусів, розжарених частин зарядів, іскор тощо.

Аналіз випадків пожежовибухонебезпечних руйнувань піротехнічних виробів в розглянутих умовах, що мали місце в Україні та в світі на протязі останнього часу свідчить про катастрофічні наслідки: руйнування об'єктів, людські жертви, значні матеріальні збитки. Виникали значні труднощі при

гасінні зарядів сумішей, що спалахнули, внаслідок того, що процес їх горіння здійснюється за рахунок власного окиснювача без участі кисню навколишнього повітря, а температури продуктів згоряння вельми високі. Водночас така ситуація значно погіршилася у зв'язку з повномасштабним вторгненням в Україну, що призвело до значного забруднення її території різними вибухонебезпечними предметами, включаючи піротехнічні боеприпаси, що не розірвалися. Велика небезпека таких виробів обумовлена тим, що вони можуть піддаватися різного роду зовнішнім термічним впливам від осередків пожеж, при зберіганні та транспортуванні виробів, при умовах різких кліматичних змінах, що сприяє їх передчасному вибухонебезпечному спрацьовуванню.

З огляду на це, одним з важливих аспектів підвищення пожежної безпеки піротехнічних виробів на основі багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей в умовах їх зберігання, транспортування та застосування із врахуванням зовнішніх термічних дій є попередження передчасних пожежовибухонебезпечних руйнувань виробів. Для цього необхідно розробити науково обґрунтовані методи визначення критичних значень параметрів зовнішніх термічних дій та технологічних параметрів зарядів сумішей, перевищення яких призводить до передчасного займання сумішей та прискореного розвитку горіння в умовах зростаючих температур нагріву та зовнішніх тисків, що призводить до швидкого спрацьовування виробів та їх пожежовибухонебезпечного руйнування.

Дослідженнями процесів горіння та вибуху піротехнічних сумішей різного призначення, включаючи їх компоненти, займалися багато відомих вітчизняних та зарубіжних вчених: Беліков А. С., Ващенко В. А., Ковалишин В. В., Кириченко О. В., Марич В. М., Табаров А. І., Фатєєв В. М., Елерн Н., Брауер К. С., Саммерфілд М., Ервін Д. Л., Осборн Ш. Р., Зурн Д. І., Прайс І. В., Сигм Р. К., Гуо Д., Макела С. та ін. На сьогодні дослідження впливу технологічних параметрів зарядів сумішей (співвідношення компонентів та їх дисперсності, коефіцієнта ущільнення, діаметру заряду та матеріалу його оболонки, вологості окиснювача тощо) та зовнішніх умов (температури нагріву, зовнішніх тисків, вологості та складу навколишнього середовища тощо) на основні характеристики процесів їх займання та розвитку горіння (температуру та склад продуктів згоряння, швидкість горіння та вибухонебезпечні режими його розвитку тощо) залишаються недостатньо вивченими. Зокрема, для розглядуваних чотирьохкомпонентних піротехнічних сумішей такі дослідження взагалі не проводились.

Отже розроблення наукових положень, які визначають критичні режими процесів нагрівання, займання та розвитку горіння багатокомпонентних нітратно - металізованих сумішей в умовах зовнішніх термічних впливів, як основи для попередження виникнення та розповсюдження пожеж при зберіганні, транспортуванні та використанні піротехнічних виробів є актуальною проблемою.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до 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 науково-дослідної роботи, що виконувалася в Національному університеті цивільного захисту України «Моделювання маршрутів при гасінні важкодоступних осередків пожежі» (ДР № 0122U000008), в якій здобувач був виконавцем.

3. Формулювання наукової проблеми, нове вирішення якої отримано в дисертації. У дисертаційній роботі вирішено нову актуальну науково-технічну проблему, яка полягає в розвитку наукових основ запобігання пожежовибухонебезпечних загорянь піротехнічних виробів на основі багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей шляхом встановлення критичних режимів їхнього нагріву, займання та розвитку горіння за умов зовнішніх термічних дій, як основи для попередження виникненню та поширенню пожежі під час зберігання, транспортування та застосування виробів.

4. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна.

Вперше отримано наступні наукові результати:

1. Встановлено закономірності впливу підвищених температур нагріву (до 800 K) та зовнішніх тисків (до 10^7 Па) на швидкість розвитку процесу горіння багатокомпонентних піротехнічних нітратно-металізованих сумішей: збільшення температури нагріву від 293 K до 800 K та зовнішнього тиску від 10^5 Па до 10^7 Па для використовуваних у піротехнічному виробництві діапазону змін технологічних параметрів (співвідношення компонентів в суміші та їх дисперсності, зволоження окиснювача, коефіцієнта ущільнення заряду суміші, його діаметра, товщини та матеріалу оболонки) та різних зовнішніх умов (складу та відносної вологості оточуючого середовища) може призводити до різкого зростання швидкості горіння сумішей (більш ніж у 4...6 разів), що призводить до вибухонебезпечного розвитку процесу горіння; водночас з цим при деяких діапазонах зміни зазначених параметрів також може спостерігатися і значне зменшення швидкості горіння (більш ніж у 3...4 рази) і його стабілізація, що дозволяє шляхом регулювання цими параметрами запобігати нестійкому та вибухонебезпечному розвитку їх горіння при зовнішніх термічних діях.
2. Розроблено математичні моделі термоударної дії зовнішнього потоку повітря на заряди сумішей з металевими оболонками циліндричної та напівсферичної форми в умовах запуску та польоту піротехнічних виробів, які враховують: технологічні параметри суміші та її термомеханічні властивості; температурні залежності теплофізичних характеристик суміші (об'ємної теплоємності, коефіцієнта теплопровідності); розподіл зовнішнього теплового потоку вздовж поверхні оболонки залежно від режиму обтікання, які дозволяють визначати критичні значення швидкостей потоку та тривалості його впливу, а також місця розташування небезпечних ділянок на поверхні оболонки, які піддаються максимальному нагріву.

3. Встановлено залежності температури продуктів згоряння сумішей, вмісту у них високотемпературного конденсату та неокисненого металу від коефіцієнта надлишку окиснювача та величини добавок різних речовин при підвищених зовнішніх тисках, що дозволяє шляхом контролю їх критичних значень у технологічних процесах виготовлення зарядів сумішей забезпечувати пожежобезпечні властивості зарядів при застосуванні виробів.

4. Розроблено математичні моделі процесу горіння багатокомпонентних ущільнених сумішей із порошків металізованих горючих, нітратовмісних окиснювачів та добавок різних речовин (органічних та неорганічних) в умовах зовнішніх термічних дій, у яких враховуються: кінетичні характеристики процесів термічного розкладання окиснювачів та добавок речовин; закономірності процесів передполум'яного окиснення та розвитку горіння частинок металу в продуктах розкладання; термодинамічні розрахунки температури продуктів згоряння сумішей та вмісту у них високотемпературного конденсату, що дозволяє визначати критичні діапазони зміни швидкості горіння сумішей для різних значень технологічних параметрів і зовнішніх термічних дій, контроль за перевищенням яких запобігає вибухонебезпечному розвитку горіння сумішей та пожежонебезпечному руйнуванню виробів.

5. На отриманій базі теоретично-експериментальних досліджень розроблено методи визначення допустимих діапазонів зміни параметрів зовнішніх термічних дій (теплових потоків і швидкостей обдуву потоком повітря для різних режимів обтікання, часів їх дії), а також технологічних параметрів зарядів сумішей, що дозволяє запобігати передчасному пожежовибухонебезпечному руйнуванню виробів.

Удосконалено, набуло подальшого розвитку:

1. Математичні моделі зовнішнього нагріву нерухомих зарядів сумішей різної геометричної форми та розмірів (плоско-паралельні пластини та пластини подвійної кривизни, циліндричні стрижні та напівсферичні елементи) у частині врахування температурних залежностей їх теплофізичних характеристик, що дозволяє більш точно визначати критичні значення зовнішніх теплових потоків та часів їх впливу для різних значень технологічних параметрів.

2. Уявлення про механізм горіння піротехнічних багатокомпонентних сумішей з порошків металевих паливних, нітратовмісних окиснювачів та добавок органічних та неорганічних речовин, зокрема встановлено, що процес горіння у першому наближенні є стаціонарним, одномірним та протікає у наступних трьох найхарактерніших зонах: конденсованій фазі (к-фазі) вихідної суміші, що складається з прогрітого шару, де можна знехтувати хімічними перетвореннями, та реакційного шару, у якому тверда суміш перетворюється у газ, що містить частинки металу, відбувається розкладання окиснювача та добавок органічних речовин (при цьому неорганічні речовини не розкладаються, тобто є інертними) у вигляді розплаву зі значним поглинанням тепла та енергійне окиснення частинок металу у продуктах розкладання; поверхні горіння суміші, на якій тверда суміш втрачає властивості суцільного конденсованого середовища, а частинки металу, що

спалахнули, переносяться потоком продуктів розкладання у зону полум'я; газовій фазі (г-фазі – зоні тепловиділення у полум'ї), у якій дисперговані частинки металу згоряють у дифузійному режимі у потоці продуктів розкладання окиснювача та добавок речовин, утворюючи продукти згорання, а тепло, що виділяється шляхом теплопровідності та радіації передається у к-фазу, що дозволило розробити адекватні математичні моделі процесу горіння зарядів сумішей при зовнішніх термічних діях для визначення вибухонебезпечних режимів його розвитку у вказаних умовах.

5. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються, підтверджено:

результатами систематизації, аналізу та узагальнення даних значної кількості сучасних вітчизняних та закордонних літературних джерел; відповідністю обраних сучасних фізико-хімічних методів досліджень поставленим у роботі меті та завданням; великим обсягом експериментального матеріалу, який отримано з використанням стандартного піротехнічного обладнання та сучасних засобів вимірювальної техніки; коректним використанням математичного та експериментально-статистичного моделювання процесів нагріву, загорання та розвитку горіння зарядів сумішей на основі системи рівнянь газової динаміки, тепло- та масообміну та хімічної кінетики, методів регресійного та кореляційного аналізів, а також чисельно-аналітичних методів; задовільною кореляцією результатів теоретичних та експериментальних досліджень (відносна похибка складає не більше 10...12 %), а також апробацією та практичним впровадженням результатів досліджень.

6. Практичне значення та використання одержаних результатів.

Результати дисертаційного дослідження становлять наукову основу для розробки, технічної реалізації та впровадження у виробництво технологічних рекомендацій для зниження ймовірності пожежонебезпечних руйнувань виробів в умовах їх зберігання та транспортування з урахуванням впливу зовнішніх термічних дій та зменшення кількості передчасних вибухонебезпечних руйнувань виробів під час їхнього застосування в умовах пострілу та польоту.

Практична цінність отриманих результатів полягає у наступному:

- розроблено науково обґрунтовані методи, які дозволяють попередити передчасне займання зарядів сумішей та пожежовибухонебезпечні руйнування виробів в умовах зовнішніх термічних впливів: метод визначення та контролю критичних значень параметрів зовнішніх термічних впливів (теплових потоків, швидкостей надзвукового обдуву потоком повітря для різних режимів обтікання та тривалості їх дії) на заряди сумішей та місця розташування на поверхні їх металевих оболонок, у яких відбувається максимальний нагрів оболонок; метод визначення та контролю вибухонебезпечних режимів розвитку горіння сумішей за умов підвищених температурах нагріву та зовнішніх тисках під металевими оболонками їх зарядів в умовах термоударних зовнішніх впливів;
- створено науково-технічну базу експериментальних даних для визначення закономірностей впливу широкого класу технологічних

параметрів сумішей (коефіцієнта надлишку окиснювача, величини та природи добавки органічної та неорганічної речовини, вологості окиснювача, природи та дисперсності металевого пального, коефіцієнта ущільнення сумішей, діаметру їх зразків, матеріалу та товщини оболонки, складу та вологості навколишнього середовища тощо) на швидкість розвитку процесу їх горіння в умовах зовнішніх термічних впливів (підвищені температури нагріву, зовнішні тиски тощо), яка може широко використовуватись у піротехнічній промисловості, а також у різних галузях хімічного машинобудування

Результати теоретичних та експериментальних досліджень, а також розроблені методи знайшли практичне використання та впровадження в практичну діяльність ДСНС України та підприємств і організацій України: Головне управління ДСНС України у м. Київ, Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУНДЦЗ) ДСНС України, Міжрегіональний центр Гуманітарного розмінування та швидкого реагування ДСНС України, ДП “Науково-дослідний інститут “Квант”, ТОВ “Науково-виробнича фірма “Адрон”, НВП “Спаринг-Віст Центр” (м. Львів). Отримані результати також знайшли застосування в освітньому процесі Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України.

7. Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях.

Основні положення й наукові результати дисертації викладено в 37 опублікованих працях, серед яких: 5 статей, проіндексованих у базах даних «Web of Science Core Collection» та / або «Scopus»; 17 статей, що входять до переліку наукових фахових видань України; 3 статті додатково відображають наукові результати дисертації; 1 монографія; 11 тез доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях.

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у періодичних виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України, або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus та/або Web of Science Core Collection

1. **Koziar N.**, Kyrychenko O., Khyzhniak A., Diadiushenko O. Thermodynamic Calculations of the Main Characteristics of the Combustion Process of Pyrotechnic Nitrate-Metallized Mixtures with Additives of Organic and Inorganic Substances under External Thermal Influences. *Scientific journal «Defect and Diffusion Forum»*. 2024.Vol. 437. P. 49-59.

2. Kochubei V., **Koziar N.**, Lavrenyuk H., Mykhalichko B. Metal-Coordinated Epoxy-Amine Composition with Reduced Fire Risk: Elaboration, Thermal and Ignition Resistance. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*. 2024. 68(3). P. 446–453.

3. **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.

4. Balanyuk V. M., **Kozyar N. M.**, Garasymuyk O. I. Study of fire-extinguishing efficiency of environmentally friendly binary aerosol-nitrogen mixtures. *Eastern-european journal of enterprise technologies. Technical science*. 2016. № 3/10 (71). P. 4-12.

5. Balanyuk V. M., Kovalyshyn V. V., **Kozyar N. M.** Effect of ecologically safe gas-aerosol mixtures on the velocity of explosive combustion of n-heptane. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technical science*. 2017. № 4/10 (88). P. 12-18.

Статті в наукових виданнях, що входять до Переліку наукових фахових видань України

6. **Козяр Н.М.** Закономірності впливу технологічних параметрів та зовнішніх чинників на швидкість та вибухонебезпечні режими горіння піротехнічних нітратно-металізованих сумішей з добавками органічних речовин. *Вісник Черкаського державного технологічного університету, Черкаси: ЧДТУ*. 2023. № 2/2023, С. 89–99.

7. **Козяр Н.** Визначення критичних значень параметрів зовнішніх термоударних впливів надзвукового потоку повітря на поверхню циліндричних металевих оболонок зарядів піротехнічних нітратно-металевих сумішей в умовах їх застосування. *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. 2023. Том 7 № 1 (2023), С. 33-44.

8. **Козяр Н.** Запобігання передчасного пожежовибухонебезпечного спрацьовування піротехнічних сумішей в умовах пострілу та польоту. *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. 2023. Том 7 № 2 (2023), С. 133-151.

9. **Козяр Н.** Експериментально-статистичні моделі для отримання бази даних по впливу технологічних параметрів зарядів піротехнічних нітратно-металізованих сумішей на залежності швидкості їх горіння від підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків. *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 № 1 (2024), С. 23-34.

10. **Козяр Н. М.**, Кириченко О. В., Романюк І. П., Ващенко В. А., Дядюшенко О. О., Балло Я. В. Закономірності процесу горіння частинок металевого пального у продуктах розкладання піротехнічних багатокомпонентних нітратно-цирконієвих сумішей. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. Київ: ІДУтаНДЦЗ. 2024. № 1(17) 2024, С. 39–46.

11. **Козяр Н.**, Кириченко О., Ковбаса В., Ващенко В., Куценко М., Школяр Є., Ножко І. Визначення процесів займання частинок металевих палих 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 (2024), С. 44-56.

12. **Kozyar N.**, Kyrychenko O., Romaniuk, Vashchenko V., Shkoliar Ie., Ballo Y. Mathematical modeling of the combustion process of particles of two-component metal alloys in the decomposition products of pyrotechnic mixtures. *ВІСТІ Донецького гірничого інституту*. Донецьк: ДВНЗ «ДНТУ». 2024. № 1(54)/2024 С. 50-62.

13. **Козяр Н. М.**, Кириченко О. В., Ващенко В. А., Школяр Є. В., Куценко М. А., Томенко М. Г., Гончар С. В., Колінько С. О.. Закономірності процесу горіння частинок металевих пального у продуктах розкладання піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей. *ВІСТІ Донецького гірничого інституту*. Донецьк: ДВНЗ «ДНТУ». 2024. № 2(55)/2024 С. 92-105.

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

15. **Козяр Н. М.**, Кириченко О.В., Ковбаса В.О., Дядюшенко О.О., Ващенко В.А., Колінько С.О. 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*. Київ: ІДУтаНДЦЗ. 2023. № 2(16) 2023, С. 42–56.

16. **Козяр Н.**, Кириченко О., Ващенко В., Кириченко Є., Ковбаса В., Колінько С., Томенко М. Запобігання пожежовибухонебезпечним займанням піротехнічних металізованих сумішей з добавками неорганічних речовин. *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. 2022. Том 6 № 2 (2022), С. 15–26.

17. **Kozyar N.**, Kyrychenko O., Kovbasa V., Vaschenko V., Kolinko S., Butenko T., Tsybulin V. Combustion model for burning multicomponent pyrotechnic nitrate-metallized mixtures. *Bulletin of Cherkasy State Technological University*. 2023, 3/2023, P. 69–84.

18. Баланюк В. М, **Козяр Н. М.**, Копистинський Ю. О., Кравченко А. В. Проблеми гасіння спиртів та їх сумішей. *Пожежна безпека*. 2018. № (33), С. 5-9.

19. **Козяр Н. М.** Механізм дії та методологія розроблення рецептур порошкових вогнегасних засобів для гасіння пожеж класу А. *Пожежна безпека*. 2014. № 24. С. 79-84.

20. **Козяр Н. М.** Підвищення ефективності об'ємного пожежогасіння. *Пожежна безпека*. 2014. № 25. С. 47-52.

21. Баланюк В. М., **Козяр Н. М.**, Гарасимюк О. І., Лозинський А. Т. Вплив добавок CO₂ на вогнегасну ефективність бінарної аерозольно-газової суміші. *Пожарна безпека*. 2016. № 28. С. 6-12

22. **Козяр Н. М.** Особливості вибухів та вибухопригнічення пилоповітряних сумішей. *Пожарна безпека*. 2016. № 29. - С. 57-65.

Статті, які додатково відображають наукові результати дисертації

23. Гарасим'юк О. І., Баланюк В. М., **Козяр Н. М.** Застосування газо-аерозольно-порошкових вогнегасних сумішей для захисту від запалювальних сумішей. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2016. № 5/2(22)2016. С.10-14.

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

25. Баланюк В. М., **Козяр Н. М.**, Кравченко А. В. Спосіб підшарового гасіння спиртів вогнегасним аерозолем. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2019. №1(54)2019, С. 11-15.

Монографія

26. Термодинамічні основи пожежної безпеки піротехнічних виробів в умовах надзвичайних ситуацій та військових дій / Кириченко О.В., **Козяр Н.М.**, Ващенко В.А., Куценко М.А. [та ін.]. Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України. 2023. 436 с.

Матеріали науково-практичних конференцій, що засвідчують апробацію дисертації

27. **Козяр Н.**, Кириченко О., Ножко І., Гончар С. Науково-обґрунтовані методи з визначення критичних значень та попередження передчасних займань піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей в умовах зовнішніх термічних дій при надзвичайних ситуаціях. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю*. Черкаси, 2024. С. 36 – 38.

28. **Козяр Н.**, Кириченко О., Школяр Є. Експериментально-статистичні моделі для створення бази даних щодо впливу технологічних параметрів зарядів піротехнічних нітратно-металізованих сумішей на залежність швидкості їх горіння від підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції*. Черкаси, 2024. С. 165 – 166.

29. **Козяр Н.**, Ковбаса В., Кириченко Є., Дядюшенко О., Георгієвський Д. 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.

30. Кириченко О. В., **Козяр Н. М.**, Школяр Є. В. Встановлення критичних параметрів зовнішніх термоударних впливів на поверхню циліндричних металевих оболонок зарядів, що складаються з піротехнічних нітратно-металевих сумішей, у контексті їх практичного використання. *Ways of Science*

Development in Modern Crisis Conditions: Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Internet Conference. Dnipro, 2023. P. 181-184.

31. Гвоздь В., Кириченко О., **Козяр Н.**, Мотрічук Р. Закономірності термічного розкладання нітратовмісного окиснювача в сумішах з алюмінієво-магнієвих сплавів. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Черкаси, 2022. С.116 – 117.
32. Кириченко О., **Козяр Н.** Ідентифікування небезпек (властивості речовин та матеріалів, горіння, займистість, процес вибуху). *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю*. Черкаси, 2022. С. 27 – 29.
33. Перепечаєв І. А., **Козяр Н. М.**, Томенко М. Г. Аналіз пожежної небезпеки модульних автозаправних пунктів та станцій. *Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів та ад'юнктів (аспірантів)*, Черкаси. 2022. С. 56 – 57.
34. Пономаренко Є., **Козяр Н.**, Гончар С., Діденко Т. Визначення граничного значення концентрації суміші горючих газів та парів у повітрі. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції*, Черкаси. 2022. С. 181 – 182.
35. Бородіна О., **Козяр Н.**, Щіпець С., Гончар С. Обґрунтування способів та методів визначення граничного значення концентрації суміші горючих газів та парів у повітрі, при перевищенні якого відбуватиметься спрацювання системи. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю*. Черкаси, 2021. С. 6 – 7.
36. **Козяр Н. М.**, Мотрічук Р. Б., Кириченко О. В. Недопущення загибелі на водних об'єктах як один з основних напрямків діяльності блоку профілактики (за матеріалами У ДСНС у Черкаській області). *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю*. Черкаси, 2020. С. 55 – 56.
37. Невструєва А. В., Суловицька О. В., Ямків М. Я., **Козяр Н. М.** Застосування протидимових завіс в системі протипожежного захисту об'єктів. *Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів*. Черкаси, 2020. С. 32 – 33.

8. Конкретний особистий внесок дисертанта в одержання наукових результатів, що виносяться на захист, опублікованих із співавторами.

Особистий внесок здобувача полягає в участі у формулюванні наукової проблеми у сфері пожежної безпеки піротехнічних виробів на основі багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей, наукових положень, самостійному визначенні мети та завдань дослідження, об'єкту та предмету дослідження, у систематизації та аналізі вітчизняних та закордонних досліджень, розробленні теоретичних розділів дисертації, удосконаленні

методів та методик досліджень, проведенні експериментальних досліджень, а також у математичній обробці результатів, формулюванні висновків. Дисертація є самостійною роботою автора. Експериментальні дослідження та впровадження результатів досліджень виконані спільно зі співавторами публікацій. Усі положення, які винесені на захист, та результати досліджень наведено в роботах [1 – 37], з яких роботи [6 – 9, 19, 20, 22] опубліковано здобувачем самостійно.

У наукових роботах, що опубліковано у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає у наступному. У [1] проведено термодинамічні розрахунки температури продуктів згоряння сумішей, вмісту у них високотемпературного конденсату та неокисненого металу для різних значень технологічних параметрів та зовнішніх умов, що дозволяє шляхом контролю за їх рівнем підвищувати пожежовибухонебезпечні властивості сумішей при застосуванні виробів. У [2] досліджено вплив підвищених температур нагрівання на новий антипірен-затверджувач для епоксидних смол, встановлена їх термостійкість та здатність до самозгасання в умовах горіння. У [3] встановлено механізм горіння піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей в умовах зовнішніх термічних дій, згідно з яким процес горіння протікає у трьох просторово розділених зонах: у к-фазі, на поверхні горіння та у зоні полум'я. У [4] здобувачем встановлено, що вимушений зовнішній нагрів зарядів піротехнічних сумішей призводить до термічного розкладання нітратовісного окиснювача та добавок органічних речовин у к-фазі суміші, неорганічних речовин – у зоні полум'я, високотемпературного окиснення частинок металевого пального у газоподібних продуктах розкладання, їх займання та горіння у замкненому об'ємі при зростанні температури нагріву та зовнішньому тиску, що призводить до прискорення процесу горіння заряду суміші та переходу його у вибух із подальшими пожежонебезпечними для навколишніх об'єктів (дерев'яні будови, паливно-мастильні матеріали та ін. легкозаймисті матеріали) руйнуваннями виробів внаслідок утворення високотемпературних продуктів згоряння, конвективного та радіаційного нагріву тощо, а також сформульовано науково-технічну проблему та визначено шляхи її вирішення. У [5] дослідження умови переходу від просторово розділеного протікання процесу горіння сумішей до його об'ємного вибухонебезпечного розвитку. У [10] визначено закономірності процесу горіння частинок цирконію у продуктах розкладання піротехнічних сумішей на його основі. У [11] досліджено процеси займання частинок металевих паливних у продуктах розкладання сумішей. У [12] розроблено математичні моделі процесу горіння піротехнічних чотирьохкомпонентних сумішей металеве пальне + нітратовмісний окиснювач + добавки органічної та неорганічної речовин, що дозволяють розраховувати залежності швидкості розвитку горіння сумішей від технологічних параметрів із урахуванням параметрів зовнішніх термічних впливів (підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків). У [13] експериментально визначено закономірності процесу горіння частинок металевого пального (частинки магнію, алюмінію) у продуктах розкладання сумішей. У [14] проведено експериментальні дослідження щодо визначення ступеня впливу різних чинників (вологості

окиснювача, діаметра заряду суміші, матеріалу його оболонки, складу навколишнього середовища тощо) на швидкість розвитку процесу горіння металізованих сумішей на основі кисневмісних окиснювачів. У [15] розроблено математичні моделі та методи розрахунку процесів нагрівання поверхні виробів із зарядами сумішей різної геометричної форми, яким вони піддаються в умовах зберігання та транспортування. У [16] експериментально досліджено вплив величини та природи добавок неорганічних речовин (фторидів металів, оксидів металів та інших чинників), що надають каталітичний або інгібуючий вплив на процес горіння сумішей із врахуванням підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків. У [17] розроблено розрахункові методи визначення критичних режимів розвитку процесу горіння суміші в умовах зовнішніх термічних дій для різних значень технологічних параметрів, що призводять до нестабільного вибухонебезпечного його протікання. У [18] досліджено можливості гасіння легко-летючих речовин, що спалахують в результаті радіаційного нагріву. У [21] досліджено вплив добавок CO_2 на вогнегасну ефективність аерозольно-газових сумішей для локалізації та гасіння різних осередків пожежі, що виникли через інтенсивний нагрів. У [23] досліджено вплив підвищених температур нагріву на спалахування газових сумішей та розглянуто застосування газо-аерозольних порошків вогнегасних сумішей для локалізації осередків пожежі. У [24] розглянуто запобігання займанню газових сумішей внаслідок конвективного нагріву комбінованими системами ударних хвиль та об'ємних вогнегасних речовин. У [25] розроблено метод гасіння спиртів, що спалахнули в результаті високотемпературного нагріву, вогнегасним аерозолем. У [26] представлено систематизацію та аналіз сучасних термодинамічних методів розрахунку температури та складу продуктів згоряння різних горючих систем, включаючи високометалізовані піротехнічні суміші з врахуванням їх багатокомпонентності та фазової нерівноважності продуктів згоряння. У [27] на базі математичних та експериментально-статистичних моделей нагріву, займання та розвитку горіння сумішей, розроблено розрахункові методи визначення критичних діапазонів зміни параметрів зовнішніх термічних дій на металеві корпуси піротехнічних виробів та технологічних параметрів зарядів сумішей для попередження передчасного пожежовибухонебезпечного руйнування виробів. У [28] розроблено експериментально-статистичні моделі нагріву, займання та розвитку горіння сумішей, розроблено базу даних із визначення впливу технологічних параметрів сумішей на швидкість розвитку процесу їх горіння в умовах зовнішніх термічних впливів. У [29] розроблено математичну модель зовнішнього радіаційно-конвективного нагріву зарядів сумішей в умовах транспортування та визначено критичні значення теплових потоків та часів їх дії, перевищення яких призводить до передчасного займання сумішей та пожежовибухонебезпечного руйнування виробів. У [30] встановлено критичні значення параметрів зовнішніх термоударних впливів на поверхні металевих оболонок зарядів сумішей різної геометричної форми у контексті їх практичного використання. У [31] досліджено процеси термічного розкладання нітратовмісного окиснювача (нітрату натрію) в умовах

підвищених температур нагріву, які притаманні к-фазі суміші при її згоранні, та визначено кінетичні характеристики (передекспоненціальний множник, енергія активації). У [32] розроблено методи ідентифікування пожежонебезпечних властивостей речовин та матеріалів в умовах зовнішніх термічних дій. У [33] представлено аналіз можливих займань летючих речовин на модульних автозаправних пунктах та станціях в умовах зовнішнього нагріву. У [34] досліджено вплив граничних значень концентрації суміші горючих газів та парів у повітрі на спрацювання системи. У [35] розроблено методи визначення граничних значень концентрацій суміші горючих газів та легко-летючих речовин при перевищенні яких відбувається вибухонебезпечні спрацювання систем на їх основі. У [36] досліджено способи підвищення надійності та пожежної безпеки культових споруд при підвищених температурах нагріву. У [37] досліджено застосування у системі протипожежного захисту протидимових завіс, що знижують рівень зовнішніх теплових дій різних осередків пожежі на об'єкти.

9. Апробація матеріалів дисертації.

Основні положення та результати дисертації представлені на XIII, XV Міжнародній науково-практичній конференції “Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій” (м. Черкаси, 2022, 2024 р.р.); 4th International Scientific and Practical Internet Conference (Дніпро, Україна, 2023 р.); X, XI, XII, XIII, XIV Всеукраїнських науково-практичних конференціях з міжнародною участю “Надзвичайні ситуації: безпека та захист” (м. Черкаси, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024 р.р.); Всеукраїнських науково-практичних конференціях курсантів та студентів “Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених” (м. Черкаси, 2020, 2022 р.р.).

10. Оцінювання мови та стилю дисертації

Текст дисертації написаний грамотно, на достатньому науковому рівні, має змістовну завершеність. Стил викладу матеріалу в дисертації наукових положень, висновків, рекомендацій забезпечує належну легкість і доступність сприйняття, а її мовно-стилістичний рівень та оформлення відповідають встановленим до відповідного типу робіт вимогам.

11. Відповідність дисертації паспорту спеціальності, за якою вона подається до захисту

За змістом дисертаційна робота відповідає затвердженому МОН України паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека (п. 4 «Дослідження процесів дифузійного, кінетичного, дефлаграційного, детонаційного горіння, поширення горіння, поширювання полум'я, запалювання, загоряння, займання, самозагоряння, самозаймання, самонагрівання, полуменевого горіння, спалаху, самостійного горіння, виявлення чинників, які на них впливають; процесів і факторів припинення горіння. Дослідження процесів термодинаміки, масо- і теплопереносу в умовах пожеж. Виявлення впливу виду і співвідношень компонентів у системах «горюча речовина-окисник-джерело запалювання» на процеси горіння»; п.1 «Дослідження пожеж та їхніх характеристик (джерела запалювання, умови, загрози, причини, ймовірність виникнення, процеси розвитку пожеж). Статистика пожеж»).

12. Відповідність докторської дисертації вимогам пунктів 7–9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук».

Докторська дисертація КОЗЯРА Назарія Михайловича відповідає вимогам пунктів 7–9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», а саме:

- докторська дисертація є кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно;
- містить наукові положення та нові науково обґрунтовані результати у галузі пожежної безпеки, одержані здобувачем особисто, які мають практичну та теоретичну цінність, та які підтверджено документами, що засвідчують виконання здобувачем досліджень;
- виконана за науковою спеціальністю з галузі науки 21 – національна безпека відповідно до переліку, затвердженого МОН;
- відповідає паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека;
- містить обґрунтовані висновки на основі одержаних здобувачем достовірних результатів;
- має єдність змісту;
- свідчить про особистий внесок здобувача в науку щодо розв’язання важливої теоретичної або прикладної проблеми;
- відповідає принципам академічної доброчесності.

13. Характеристика здобувача, його шлях у науці, ступінь наукової зрілості.

Проведені дослідження та опубліковані наукові праці характеризують КОЗЯРА Назарія Михайловича як кваліфікованого фахівця і дослідника. Здобувач на високому рівні володіє методологією наукових досліджень. Йому притаманне логічне мислення, вміння ставити завдання та пропонувати нестандартні шляхи їх вирішення, виділяти головні та вторинні аспекти. КОЗЯР Назарій Михайлович є сформованим, кваліфікованим науковцем з глибоким теоретичним та практичним рівнем підготовки за спеціальністю 21.06.02 - пожежна безпека.

14. Рекомендації докторської дисертації до захисту.

Враховуючи актуальність теми дослідження, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, впровадження їх у практику, достатню повноту викладення матеріалів дисертації в опублікованих наукових працях, дотримання принципів академічної доброчесності, відповідність роботи вимогам п. 6, 7, 8, 9 “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 року №1197, рекомендувати дисертацію КОЗЯРА Назарія Михайловича «Розвиток наукових основ попередження пожежовибухонебезпечного займання піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей в умовах зовнішніх термічних дій» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за

спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека до захисту в спеціалізованій вченій раді Д64.707.04 Національного університету цивільного захисту України.

Рецензенти:

професор кафедри спеціальної хімії
та хімічної технології
факультету ОРС НУЦЗ України
д.т.н., професор

Олександр КІРЄЄВ

професор кафедри спеціальної хімії
та хімічної технології
факультету ОРС НУЦЗ України
д.т.н., професор

Ольга СКОРОДУМОВА

доцент кафедри спеціальної хімії
та хімічної технології
факультету ОРС НУЦЗ України
д.т.н., доцент

Андрій ШАРШАНОВ