

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, доцента **ЯКОВЧУКА Романа Святославовича** на дисертацію **КОЗЯРА Назарія Михайловича** за темою «**Розвиток наукових основ попередження пожежовибухонебезпечного займання піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей в умовах зовнішніх термічних дій**», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека

Актуальність обраної теми, зв'язок з науковими програмами

При зберіганні, транспортуванні та застосуванні піротехнічні вироби з багатокомпонентними нітратно-металізованими сумішами піддаються термічним діям у різних екстремальних ситуаціях (наприклад, при пожежах у складських приміщеннях, де зберігаються вироби або при їх транспортуванні, в умовах пострілу та польоту при запусках виробів тощо). Це призводить, у першу чергу, до передчасного займання та розвитку горіння зарядів сумішей та подальшого пожежонебезпечного руйнування виробів. При цьому у багатьох випадках передчасні вибухонебезпечні спрацьовування піротехнічних виробів мали катастрофічні наслідки, оскільки процес горіння піротехнічних зарядів, що почався, неможливо ефективно ліквідувати сучасними засобами пожежогасіння.

Тому тема дисертаційної роботи щодо встановлення закономірностей процесів нагрівання, займання та розвитку горіння багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей як основи для попередження пожежонебезпечного руйнування піротехнічних виробів при зовнішніх термодіях є важливою та актуальною.

Дисертаційна робота виконана 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.

Обґрунтованість наукових положень висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації, достовірність одержаних результатів

Наукові положення та рекомендації роботи викладено достатньо, оскільки вони базуються на результатах, отриманих автором за допомогою сучасних методів фізико-хімічного аналізу (методи мікрокінозйомки, контактні та безконтактні методи вимірювання температури, методи рентгеноструктурного аналізу, термогравіметричні методи тощо), а також методів математичного та експериментально-статистичного моделювання, чисельно-аналітичних методів рішення задач нелінійної теплопровідності та термостійкості.

Результати роботи базуються на фактах, що були отримані з загальноновизнаних наукових джерел.

Обґрунтованість отриманих теоретичних результатів дисертації базується на задовільному їх збігу з експериментальними даними.

Достовірність розроблених методів визначення критичних значень параметрів зовнішніх термодій та технологічних параметрів зарядів сумішей підтверджується широкою апробацією та практичним впровадженням на підприємствах України.

Наукова новизна одержаних результатів

Новими та найбільш значущими є наступні положення дисертаційної роботи.

Вперше.

1. Встановлено закономірності впливу підвищених температур нагріву (до 800 К) та зовнішніх тисків (до 10^7 Па) на швидкість розвитку процесу горіння багатокомпонентних піротехнічних нітратно-металізованих сумішей: збільшення температури нагріву від 293 К до 800 К 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 пальних,

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 згоряння, 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.

Загальні висновки засвідчують виконання всіх поставлених завдань дослідження та характеризуються єдністю змісту, повністю відображають отримані у роботі результати. У додатках представлено список публікацій за темою дисертації, відомості про апробацію результатів дисертації, документи про впровадження.

Загальнонаціональне значення отриманих результатів

Запропонована науково-методологічна база для створення основ запобігання передчасних пожежовибухонебезпечних займань багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей, які складають основу різноманітних піротехнічних виробів загальнопромислового та військового призначення для попередження виникнення та розповсюдження пожеж при застосуванні виробів в умовах надзвичайних ситуацій та воєнного стану.

Результати досліджень дисертації дозволили внести зміни та доповнення до національних стандартів України щодо піротехнічних виробів різного призначення.

Практичні результати дисертації забезпечили можливість застосування розробленої науково-методологічної бази для підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів з наявністю загальнопромислових піротехнічних виробів та можуть бути використані в якості навчально-методичного базису освітніх компонентів за спеціальністю - пожежна безпека.

Повнота викладу наукових положень, висновків та рекомендацій в наукових публікаціях, зарахованих за темою докторської дисертації

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.

Відповідність принципам академічної доброчесності

Дисертація не містить текстових запозичень без посилання на джерело. Положення, викладені в дисертації є результатами власних досліджень автора, не містять академічного чи інших видів плагіату.

Оцінка змісту дисертації її завершеність в цілому, відповідність встановленим вимогам оформлення дисертації

Зміст та структура дисертації дає змогу послідовно та повністю розкрити суть усіх отриманих у роботі результатів дослідження.

Реферат має достатньо повне уявлення про зміст дисертації, головні наукові положення, результати та висновки. Зміст Реферату є ідентичним основним положенням дисертації.

Дисертація складається з анотації, змісту, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 438 сторінок друкованого тексту, з них обсяг основного тексту – 307 сторінок, 152 рисунки, 50 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет досліджень, відображено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Описано структуру та короткий зміст дисертації. Наведено відомості щодо апробації та опублікування основних результатів досліджень.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено ґрунтовний аналіз стану питання пожежної безпеки піротехнічних виробів, які піддаються зовнішнім термодіям при їх зберіганні, транспортуванні та застосуванні. Достатньо повно проведено аналіз поведінки компонентів піротехнічних нітратно-металевих сумішей в умовах зовнішнього нагріву: процеси термічного розкладання окиснювача, добавок органічних та неорганічних речовин, високотемпературного окиснення та передполум'яного займання частинок порошку металевого пального у продуктах розкладання. Проаналізовано існуючі результати теоретичних та експериментальних досліджень процесу займання та розвитку горіння ущільнених багатокомпонентних сумішей з порошків металевих пальних, нітратовмісних окиснювачів та добавок органічних та неорганічних речовин, що складають основу сумішей, які входять у склад піротехнічних виробів. В роботі достатньо обґрунтовано сформульовано мету та задачі

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 уточнені математичні моделі нагріву зарядів сумішей зовнішніми тепловими потоками у частині врахування температурних залежностей теплофізичних властивостей суміші та впливу параметрів зовнішніх термодій. Вперше сформульовано умови знаходження критичних параметрів зовнішніх термодій та технологічних параметрів зарядів сумішей, перевищення яких призводить до їх передчасного спрацьовування та пожежовибухонебезпечного руйнування виробів. В четвертому розділі на основі проведених досліджень поведінки компонентів сумішей в умовах зовнішніх термодій вперше розкрито механізм їх горіння та вперше розроблено математичну модель для визначення впливу технологічних параметрів сумішей (співвідношення та дисперсності компонентів) та зовнішніх чинників (підвищені температури нагріву та зовнішні тиски) на швидкість розвитку процесу горіння суміші та граничні стійкі режими його протікання. За допомогою відомих методів термодинамічного аналізу отримано нові залежності температури та складу продуктів згоряння сумішей від співвідношення компонентів у них, а також підвищених зовнішніх тисків. Це дозволяє контролювати рівень температур продуктів згоряння сумішей, а також вмісту у них високотемпературного конденсату та неокисненого металу, що дає змогу знижувати їх пожежну небезпеку при спрацьовуванні піротехнічних виробів у штатних умовах їх застосування. В п'ятому розділі представлено нові експериментальні дослідження основних характеристик процесу займання та розвитку горіння сумішей (температури займання та часу горіння частинок металевих пальних у продуктах розкладання суміші, швидкості та концентраційних меж горіння сумішей). Це дозволяє формувати базу даних по критичним значенням технологічних параметрів заряду суміші (співвідношення та дисперсності компонентів та ін.) в умовах зовнішніх термодій, перевищення яких призводить до займання частинок металу у продуктах розкладання сумішей та розвитку процесу їх горіння аж до вибухонебезпечного режиму його протікання. У шостому розділі на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вперше розроблено науково обґрунтовані методи визначення критичних значень параметрів зовнішніх термодій та технологічних параметрів зарядів сумішей, перевищення яких призводить до їх вибухонебезпечного спрацьовування та пожежонебезпечного руйнування виробів. Вказані методи було впроваджено на підприємствах України у вигляді засобів контролю та технологічних рекомендацій для попередження загорянь та пожеж на об'єктах виробництва, зберігання,

транспортування піротехнічних виробів, що дозволило знизити вірогідність виникнення пожежонебезпечних руйнувань виробів при зберіганні та транспортуванні у 2...3 рази та зменшити кількість передчасних вибухонебезпечних руйнувань виробів в умовах пострілу та польоту у 2...2,5 разу. Результати дисертації використовуються при організації навчального процесу у закладах вищої освіти України.

Тема та зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека.

Зміст реферату повністю відповідає основним положенням, рекомендаціям та висновкам дисертації. Реферат написано лаконічно та технічно грамотно.

Практичне значення отриманих 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 врахуванням впливу зовнішніх термічних дій та зменшення кількості передчасних вибухонебезпечних руйнувань виробів при їх застосуванні в умовах пострілу та польоту. Практична цінність отриманих результатів полягає у наступному:

- розроблено науково обґрунтовані методи, які дозволяють попереджати 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 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 при зростаючих температурах нагріву та зовнішніх тисках під металевими оболонками їх зарядів в умовах термоударних зовнішніх впливів;

- створено науково-технічну базу експериментальних даних з 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 (підтверджено актами впровадження) на підприємствах 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”, НВПІ “Спаринг-Віст Центр” (м. Львів)).

Впровадження засобів контролю та технологічних рекомендацій дозволило: знизити ймовірність пожежовибухонебезпечних руйнувань виробів в умовах їх зберігання та транспортування при наявності зовнішніх термічних дій у 1,5...2,5 раз; попереджати передчасні вибухонебезпечні руйнування виробів під час пострілу та польоту; сформулювати пропозиції щодо внесення змін та доповнень до національних стандартів України по піротехнічним виробам побутового призначення.

Отримані результати також знайшли застосування в освітньому процесі Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України при здійсненні підготовки фахівців для ДСНС України за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» освітнього рівня «бакалавр», «магістр», «доктор філософії», що дає змогу підвищити ефективність навчального процесу та сприяє досягненню заявлених в освітніх програмах цілей та програмних результатів навчання (підтверджено актами впровадження).

Зауваження та дискусійні питання стосовно положень докторської дисертації

До недоліків та зауважень по дисертації Н. М. Козяра можна віднести наступне.

1. У розділі 1 дисертаційної роботи не наводиться порівняльний аналіз з іншими типами піротехнічних сумішей (наприклад, на основі ущільнених сумішей окиснювачів, металевих та неметалевих пальних, добавок органічних та неорганічних речовин тощо), які на даний час використовуються у піротехнічних виробках різного призначення.

2. У роботі доцільно було б спочатку сформулювати узагальнені критерії, що характеризують пожежну безпеку піротехнічних виробів з нітратно-металізованими сумішами при їх зберіганні, транспортуванні та застосуванні з врахуванням впливу зовнішніх термодій. Крім цього, відсутня структурно-логічна схема їх практичного використання на підприємствах з наявністю піротехнічних виробів.

3. У розділі 2 не наведено порівняльний аналіз методів вимірювання швидкості горіння піротехнічних нітратно-металевих сумішей, звідки було б ясно, які похибки вимірювання швидкості горіння розглядуваних сумішей.

4. При дослідженні процесу нагріву зарядів піротехнічних сумішей в умовах зовнішніх термічних дій слід було б розглянути й інші типи використовуваних зарядів (наприклад, конусоподібні, багаточарові тощо), а також оболонки з різних матеріалів (наприклад, картон, пластмаса, броньовані шари з спеціальних смол тощо).

5. При термодинамічному аналізі процесу горіння піротехнічних нітратно-металізованих сумішей недостатньо повно представлено залежності температури T_z та складу продуктів згоряння сумішей, відносного вмісту у них високотемпературного конденсату g_k від співвідношення компонентів та зовнішнього тиску. Це знижує ефективність управління максимальними значеннями T_z та g_k , які відповідають за пожежобезпечне спрацьовування піротехнічних сумішей у штатних умовах застосування виробів.

6. При експериментальних дослідженнях процесу займання та розвитку горіння розглядуваних сумішей в умовах підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків не розглянуто вплив інших чинників (коефіцієнта ущільнення суміші, матеріалу оболонки, діаметру та висоти заряду тощо) на нестійкість розвитку процесу горіння.

7. У роботі існують деякі неточності у представленні матеріалу:

- у описі методів дослідження потрібно було б більш детально описати методи, що застосовуються, з вказівкою їх назв: наприклад, методи мікрокінозйомки для дослідження процесів займання частинок металу та горіння сумішей, термогравіметричний метод для дослідження ступеня розкладання окиснювача, ступеня окиснення частинок металу у продуктах розкладання тощо;

- невдале розміщення деяких рисунків, відсутність їх об'єднань, що дозволило б скоротити об'єм роботи;

- у дисертації пронумеровано усі формули при необхідності нумерації лише тих формул, на які відбувається посилання;

- є редакторські неточності у тексті та при оформленні рисунків та таблиць.

Проте вказані недоліки не знижують цінність проведеного здобувачем дисертаційного дослідження та не впливають на позитивну оцінку представленої дисертації.

Загальний висновок та оцінка дисертації

Представлена дисертація є завершеною роботою, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати. У роботі вирішено конкретну науково-технічну проблему, яка полягає у розвитку наукових основ підвищення пожежної безпеки піротехнічних виробів шляхом встановлення основних закономірностей процесів нагріву, займання та розвитку горіння багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей як основи для попередження виникнення пожеж у разі зовнішніх термічних дій. Це має істотне значення для реалізації державних та галузевих проектів щодо

забезпечення пожежної безпеки загальнопромислових піротехнічних виробів при їх зберіганні, транспортуванні та застосуванні з врахуванням впливу зовнішніх термічних дій.

Своєю тематичною спрямованістю представлена робота відповідає паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека.

За актуальністю, науковим рівнем розробок та їх практичним втіленням, наявністю необхідних кількості та обсягу публікацій дисертаційна робота КОЗЯРА Назарія Михайловича за темою “Розвиток наукових основ попередження пожежовибухонебезпечного займання піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей в умовах зовнішніх термічних дій” відповідає вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а її автор, КОЗЯР Назарій Михайлович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 — пожежна безпека.

Офіційний опонент:

начальник факультету цивільного захисту
Львівського державного університету
безпеки життєдіяльності,
доктор технічних наук, доцент

Роман ЯКОВЧУК

