

ВІДГУК
офіційного опонента
доктора технічних наук, професора
КОСТЕНКА Віктора Климентовича

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

З кожним роком в Україні та у світі зростає кількість пожеж та вибухів при зберіганні, транспортуванні та застосуванні піротехнічних нітратно-металевих сумішей та їх компонентів, які входять до складу піротехнічних виробів різноманітного призначення (освітлювальних, сигнальних, трасуючих, феєрверочних тощо), що призводить до руйнування об'єктів, травмування та загибелі людей, наносять значні матеріальні збитки. В деяких випадках передчасні вибухонебезпечні спрацьовування як компонентів, так і самих піротехнічних сумішей мають катастрофічні наслідки і навіть можуть впливати на національну безпеку цілої держави.

Так, наприклад, в порту м. Бейрут (2020 р.) сталися два потужних вибухи, що створили ударну хвилю, яка повністю зруйнувала припортову інфраструктуру та будівлі і споруди на відстані 10 км. В результаті вибуху загинуло 220 людей, 6000 людей було поранено та 110 людей зникли безвісти. Причиною другого вибуху стали 2750 тон нітрату амонію, що зберігалися в порту та піддалися зовнішнім термічним впливам наслідків першого вибуху, що в свою чергу стався в результаті пожежі на складі піротехніки.

Тому практичне значення мають методи попередження виникнення вимушених пожежонебезпечних руйнувань виробів у випадку впливу зовнішніх термічних дій.

Нині дослідження щодо впливу різних технологічних параметрів (співвідношення компонентів та їх дисперсності, коефіцієнта ущільнення, діаметра заряду тощо) та зовнішніх умов (температури нагріву, зовнішнього тиску тощо) на процеси загоряння та розвитку горіння нітратно-металізованих сумішей, зокрема, швидкість горіння та вибухонебезпечні режими його розвитку практично відсутні.

Тому розроблення наукових положень, які встановлюють основні закономірності процесів нагрівання, загоряння та розвитку горіння багатокомпонентних піротехнічних нітратно-металізованих сумішей, як основи для попередження виникнення пожеж у випадку зовнішніх термодій є актуальною науково-технічною проблемою, рішення якої присвячена дана дисертація.

Зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, темами.

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.

Дисертацію виконано 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

Обґрунтованість положень та висновків підтверджується: 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 об'ємом експериментального матеріалу, який отримано з використанням стандартного піротехнічного обладнання та сучасних засобів вимірювальної техніки; коректним використанням математичного та експериментально-статистичного моделювання процесів нагріву, загоряння 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 розв'язання рівнянь на сучасних ПК з використанням стандартних пакетів програм; задовільною кореляцією результатів теоретичних та експериментальних досліджень, а також апробацією та практичним впровадженням результатів досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів досліджень

Для вирішення важливої науково-технічної проблеми яка полягає у розвитку наукових основ підвищення пожежної безпеки піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей у випадку зовнішніх термодій було отримано наступні наукові результати.

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 палих, 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 диспергуванні 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.

Загальнонаціональне значення отриманих результатів

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

Результати теоретичних та експериментальних досліджень дозволили ввести зміни та доповнення до національних стандартів України щодо піротехнічних виробів різного призначення.

Результати практичних досліджень дозволили використати розроблену науково-методологічну базу для підвищення пожежної безпеки підприємств з наявністю піротехнічної продукції та можуть бути використані в якості

навчально-методичної основи освітніх компонентів за спеціальністю «Пожежна безпека».

Практичне значення отриманих результатів

Результати досліджень, представлених у дисертації, 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, що дозволило знизити ймовірність пожежонебезпечних руйнувань виробів при зберіганні та транспортуванні з врахуванням зовнішніх термічних впливів у 1,5...2 рази, а також зменшити кількість передчасних вибухонебезпечних руйнувань виробів в умовах пострілу та польоту у 2...2,5 рази. Розроблено зміни та доповнення до Національних стандартів України по піротехнічним виробам побутового призначення.

Окрім цього, результати роботи використовуються при організації навчального процесу у закладах вищої освіти України.

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

Дисертаційна робота за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека та являє собою одноособово написану кваліфікаційну наукову працю, яка містить сукупність результатів та наукових положень, виставлених автором для захисту, має внутрішню єдність та свідчить про особистий внесок автора у науку та практику пожежної безпеки піротехнічних виробів в умовах їх зберігання, транспортування та застосування.

Робота має наукову новизну та практичну цінність, написана грамотною, літературною українською мовою, оформлена відповідно до вимог.

Реферат повністю відтворює зміст дисертації. Зміст реферату відповідає основним положенням, рекомендаціям та висновкам 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.

Зміст роботи відповідає завершеності вирішення важливої науково-технічної проблеми щодо розвитку наукових основ підвищення пожежної безпеки піротехнічних виробів шляхом встановлення основних закономірностей процесів нагріву, займання та розвитку горіння піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей як основи для попередження виникнення пожеж у випадку зовнішніх термодій. Рішення вказаної проблеми включає: аналіз стану та концепцію побудови пожежонебезпечних піротехнічних виробів з врахуванням впливу зовнішніх термодій в умовах їх зберігання, транспортування та застосування (розділ 1);

загальну методологію проведення експериментальних та теоретичних досліджень, опис стандартного піротехнічного обладнання для проведення досліджень та сучасних методик вимірювання основних характеристик досліджуваних процесів (розділ 2); комплекс математичних моделей для визначення залежності розподілів температури по товщині зарядів сумішей різної геометричної форми від параметрів зовнішніх термодій (величини теплового потоку, часу його дії, швидкості обдуву потоком повітря тощо) (розділ 3), математичні моделі для визначення впливу технологічних параметрів сумішей (співвідношення та дисперсності компонентів тощо) та зовнішніх чинників (температури нагріву, складу навколишнього середовища тощо) на основні характеристики процесів їх займання та розвитку горіння (температури займання, часу індукції, температури та складу продуктів згоряння, швидкості розвитку горіння та меж його стійкого та стабільного протікання) (розділ 4); проведення експериментальних досліджень та побудова експериментально-статистичних моделей для визначення залежності температури займання та часу горіння частинок металу в продуктах розкладання сумішей, а також швидкості горіння сумішей від співвідношення та дисперсності компонентів, підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків (розділ 5); науково обґрунтовані методи знаходження критичних значень параметрів зовнішніх термодій та технологічних параметрів сумішей, перевищення яких призводить до їх передчасного спрацьовування та пожежовибухонебезпечного руйнування виробів, які було успішно впроваджено на ряді підприємств України у вигляді нормативних документів на виготовлення, зберігання, транспортування та застосування піротехнічних виробів загальнопромислового призначення (розділ 6).

Загальні висновки повністю відображають отримані у роботі результати. Загальні висновки сформовано якісно та лаконічно. У додатках надано список публікацій за темою дисертації, відомості про апробацію результатів дисертації, документи про впровадження.

Зауваження та дискусійні питання стосовно положень докторської дисертації

Незважаючи на високий науковий та практичний рівень, дисертаційна робота має ряд недоліків.

1. Отримані здобувачем результати мають значно ширше застосування, ніж розглянуте ним використання для піротехнічних виробів загальнопромислового призначення (див. розділ 1). Доречно було б навести приклади та особливості їх застосування для виробів інших типів.
2. Недостатньо повно наведено існуючі дані по поведінці компонентів нітратно-металізованих сумішей при різних зовнішніх умовах (див. розділ 1).
3. У розділі 2 загальну методику досліджень не представлено більш детально у вигляді блок-схеми виконання окремих етапів роботи, що дало б більш наглядне уявлення про досягнення поставленої мети у дисертації.

4. У математичних моделях нагріву зарядів піротехнічних сумішей зовнішніми тепловими потоками (див. розділ 3) не враховуються радіаційні теплові потоки із зон нагріву, а також конвекційний теплообмін із навколишнім середовищем.

5. При термодинамічному аналізі процесу горіння нітратно-металізованих сумішей не представлено залежності температури та складу продуктів згоряння від таких важливих параметрів навколишнього середовища, як його склад, вологість тощо, оскільки це характеризує повноту згоряння металевих пального у вихідній суміші, її енергетичні можливості у підвищенні температури продуктів згоряння.

6. При розробці математичної моделі горіння розглядуваних сумішей в умовах зовнішніх термодій (див. розділ 4) теоретично не обґрунтовується у загальному тепловому балансі к-фази суміші тепловиділення в результаті окиснення частинок металу у її реакційній зоні, а також радіаційні тепловтрати з зони полум'я, що має високу температуру.

7. При експериментальному визначенні концентраційних меж горіння сумішей в умовах зовнішніх термодій не визначено вплив на них підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків, що дозволило б уточнити умови переходу процесу горіння у вибух або затухання.

8. Не показано, чи зможуть розроблені методи бути покладені в основу створення автоматизованої системи керування пожежною безпекою піротехнічних виробів при їх виготовленні, зберіганні, транспортуванні та застосуванні в умовах впливу зовнішніх термічних дій (див. розділ 6).

9. В роботі існують деякі неточності та огріхи у представленні матеріалу:

- у деякому матеріалі розділів 2 – 5 міститься опис відомої інформації, що доречно було б віднести до розділу 1, в якому наводиться аналітичний огляд існуючих результатів досліджень;
- деякі редакторські неточності при викладенні наукових положень та висновків, оформленні літератури;
- у дисертації пронумеровано усі формули при необхідності нумерації лише тих формул, на які відбувається посилання.

Вказані недоліки ніякою мірою не зменшують наукову та практичну цінність роботи.

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 піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей як основи для попередження виникнення пожеж у разі зовнішніх термічних дій. Це має істотне значення для теорії та практики підвищення пожежної безпеки виробів при їх зберіганні, транспортуванні та застосуванні в умовах впливу термічних дій.

По своїй тематичній спрямованості представлена робота відповідає паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека.

Представлена дисертація КОЗЯРА Назарія Михайловича «Розвиток наукових основ попередження пожежовибухонебезпечного займання піротехнічних багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей в умовах зовнішніх термічних дій» за актуальністю, науковим рівнем розробок, їх практичним втіленням, обсягом і кількістю публікацій 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:

завідувач кафедри природоохоронної діяльності
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Міністерства освіти і науки України
доктор технічних наук,
професор



Віктор КОСТЕНКО

Підпис д.т.н., професора, завідувача кафедри природоохоронної діяльності
ДВНЗ «ДонНТУ» Віктора КОСТЕНКА засвідчую

Перший проректор з НПР ДВНЗ «ДонНТУ» Вікторія ВОРОПАЄВА

