

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора,
заслуженого діяча науки і техніки України

БЄЛКОВА Анатолія Серафимовича

на докторську 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 дисертації.

З кожним роком в галузях економіки та військовій техніці України все більшого застосування набувають піротехнічні вироби різного призначення (фейерверкові зірки та петарди, спалахувальні та займисті засоби, трасувальні патрони та снаряди, піротехнічні ІЧ-випромінювачі, пристрої ракетно- космічної техніки тощо) для отримання спеціальних ефектів (світлових, кольорово-полум'яних, теплових, звукових, реактивних тощо). Основу цих виробів складають заряди з багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей, які при зберіганні та транспортуванні або застосуванні виробів можуть піддаватись різним зовнішнім термічним впливам (наприклад, інтенсивному нагріву при пожежі у складських приміщеннях, де зберігаються вироби або при їх транспортуванні, а також термоударним впливам при запуску та польоті виробів тощо). В результаті відбувається передчасне спрацьовування зарядів сумішей, що входять у склад виробів, та прискорення процесу їх горіння в умовах замкненого об'єму при зростанні температури нагрівання та зовнішнього тиску включно до пожежовибухонебезпечних руйнувань корпусів виробів, які супроводжуються проявом різних чинників пожежі (Йорданія, 2017 р.; Німеччина, 2018 р.; Ліван, 2020 р.; Індія 2024 р., Україна, 2021-2024 р. тощо). При цьому з початком повномасштабної війни в Україні (з 24 лютого 2022 року) виникла також серйозна проблема, яка пов'язана з забрудненням території нашої держави вибухонебезпечними предметами (касетні боеприпаси, мінні загородження, піротехнічні боеприпаси, що не розірвалися тощо), які являють реальну загрозу мирному населенню, особливо в умовах термічних впливів (при інтенсивному нагріві, різких змінах кліматичних умов та ін.).

Аналіз вказаних випадків показує, що займанню та подальшому пожежовибухонебезпечному руйнуванню піротехнічних виробів передують зовнішні термічні впливи, яким вони піддаються, наприклад, при пожежі у складських приміщеннях, де зберігаються вироби, в умовах їх транспортування при займанні близько розташованих об'єктів, ударні термовпливи в умовах пострілу та польоту в зонах бойових дій на територіях,

які піддаються артобстрілам з утворенням та розповсюдженням різних осередків з підвищеною температурою навколишнього середовища та ін.).

Тому 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 поширення пожеж при зберіганні, транспортуванні та використанні піротехнічних виробів, є актуальною науково-технічною проблемою, вирішенню 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., 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

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, займання 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

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 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.

Загальнонаціональне значення отриманих результатів

Розроблена 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 поширення пожеж під час обігу виробів в умовах надзвичайних ситуацій та воєнного стану.

Теоретико-експериментальні результати дисертації дозволили внести зміни та доповнення до національних стандартів України щодо піротехнічних виробів різного призначення.

Отримані практичні результати досліджень забезпечили можливість застосування розробленої науково-методологічної бази для оцінювання рівня пожежної безпеки об'єктів з наявністю піротехнічних виробів та можуть бути використані в якості навчально-методичного базису навчальних дисциплін 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

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 грамотно, літературною українською мовою і добре оформлена.

Зміст реферату відповідає основним положенням, рекомендаціям та висновкам дисертації. Реферат написано лаконічно та у стислій формі.

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 обгрунтовано 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 багатокомпонентних нітратно-металізованих сумішей як основи для попередження виникнення пожеж у випадку зовнішніх термодій. Рішення вказаної проблеми включає: аналіз стану та концепцію побудови пожежобезпечних 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 залежностей розподілів температури по товщині зарядів сумішей від параметрів зовнішніх термодій (величини теплового потоку, швидкості надзвукового обдуву потоком повітря, часу їх дії) (розділ 3); математичні моделі для визначення впливу технологічних параметрів зарядів сумішей (співвідношення та дисперсності компонентів) та зовнішніх чинників (температури нагріву та зовнішнього тиску) на основні характеристики процесів їх займання та розвитку горіння (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 залежностей температури займання та часу горіння частинок металу в продуктах розкладання окиснювача, а також швидкості горіння сумішей від співвідношення та дисперсності компонентів, підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків (розділ 5); науково обґрунтовані алгоритми знаходження критичних значень параметрів зовнішніх термодій та технологічних параметрів зарядів сумішей, перевищення яких призводить до їх передчасного спрацьовування та пожежонебезпечного руйнування виробів, а також база експериментальних даних з визначення вибухонебезпечних режимів розвитку горіння сумішей в умовах зовнішніх термічних дій, які було успішно впроваджено на ряді підприємств України у вигляді нормативно-технічних 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.

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», НВП «Спаринг-Віст Центр» (м. Львів)).

Впровадження засобів контролю та технологічних рекомендацій дозволило: знизити ймовірність пожежовибухонебезпечного руйнування виробів в умовах їх зберігання та транспортування при наявності зовнішніх термічних дій у 1,5...2,5 рази; 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» (підтверджено актами впровадження).

Зауваження та дискусійні питання стосовно положень докторської дисертації

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

1. Недостатньо повно наведено існуючі дані по поведінці компонентів нітратно-металізованих сумішей при різних температурах нагріву та зовнішніх тисках.
2. У розділі 2 загальну методику досліджень представлено недостатньо повно, що призвело до менш наглядного уявлення про досягнення поставленої мети у дисертації.
3. У математичних моделях нагріву зарядів сумішей зовнішніми тепловими потоками (див. розділ 3) не враховуються радіаційні теплові потоки з зон нагріву, а також конвективний теплообмін на поверхні зарядів.
4. Не ясно, у чому особливість термодинамічних розрахунків температури та складу продуктів згоряння для високометалізованих (більше 50...60 % металевого пального) сумішей (див. розділ 4).
5. При розробці математичної моделі процесу горіння розглядуваних сумішей в умовах зовнішніх термодій (див. розділ 4) не враховуються у загальному тепловому балансі к-фази суміші тепловиділення в результаті згоряння частинок металу на поверхні горіння.
6. При проведенні експериментальних досліджень основних характеристик горіння (температури займання, часу індукції та швидкості горіння) сумішей (див. розділ 5) не скрізь вказана похибка їх вимірювання.
7. В роботі існують деякі неточності та огріхи у представленні матеріалу:
 - у деякому матеріалі розділів 2 – 6 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 обгрунтовані 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 теорії та практики підвищення пожежної безпеки піротехнічних виробів при їх зберіганні, транспортуванні та застосуванні в умовах впливу термічних дій.

Докторська дисертація КОЗЯРА Назарія Михайловича є кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, містить наукові положення та нові науково обґрунтовані результати, одержані здобувачем особисто, які мають практичну та теоретичну цінність.

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

Дисертація 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:

Заслужений діяч науки і техніки України,

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри охорони праці,

цивільної та техногенної безпеки

Навчально-наукового інституту «Придніпровська

державна академія будівництва та архітектури»

Українського державного університету

науки і технологій

Анатолій БЄЛІКОВ

