

Голові разової спеціалізованої
вченої ради ДФ 64.707.076 (PhD9460)
Національного університету
цивільного захисту України,
д.т.н., професору Нуянзіну О. М.
м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8
18034

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук МОРЩА Євгена Володимировича на дисертаційну роботу КРИВОРУЧКА Євгена Миколайовича «Удосконалення техніки гасіння пожежі дрібнодисперсним водяним струменем», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 26 «Цивільна безпека», спеціальності 261 «Пожежна безпека»

1. Актуальність теми дисертаційного дослідження, її зв'язок з науковими програмами

Одним із актуальних завдань у сфері пожежогасіння є пошук і дослідження нових вогнегасних засобів та удосконалення тих, які вже існують. В умовах сьогодення це завдання набуває критично важливого значення. Встановлено, що вода є найбільш розповсюдженою, дешевою та доступною вогнегасною речовиною, яку використовують під час гасіння пожеж. Це пояснюється наявністю у води ряду властивостей, основними з яких є висока охолоджувальна та проникна здатності.

Найбільший ефект гасіння при подачі води спостерігається в тому випадку, коли її охолоджуючий ефект буде максимальним, тобто коли вся подана на гасіння пожежі вода випарується за рахунок відведення тепла від осередку горіння. Недосконалість техніки подачі й розпилення води багато в чому знижує її ефективність. Розпилені струмені характеризуються незначною ударною силою та дальністю дії, але зрошують велику поверхню. При подачі води розпиленими струменями створюються найбільш сприятливі умови для її випаровування, при цьому відбувається підвищення охолоджувального ефекту та розбавлення газового горючого середовища водяною парою. Для зменшення матеріальних та побічних збитків від пожеж та захисту життя і майна людей особливо важливо застосовувати ефективні та екологічно безпечні технічні засоби пожежогасіння.

Таким чином пошук шляхів удосконалення техніки та способів подачі води в осередок пожежі, з необхідною для досягнення поставленої мети дисперсністю, є важливим та актуальним науково-практичним завданням в сфері пожежної безпеки.

Обраний напрямок досліджень є перспективним у сфері розвитку

технічних засобів пожежогасіння дрібнодисперсним водяним струменем, його проведення відповідає вимогам розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 листопада 2017 р. № 1023-р «Про схвалення Стратегії розвитку органів системи Міністерства внутрішніх справ на період до 2020 року», Стратегії національної безпеки України, затвердженої Указом Президента України від 14 вересня 2020 року № 392/2020 та постанови Кабінету Міністрів України від 5 липня 2024 р. № 787 «Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня». Дослідження проводилося у рамках виконання науково-дослідної роботи «Дослідження засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою, що застосовують у будівлях» (№ державної реєстрації 0121U000006).

2. Відповідність мети, об'єкту, предмету та завдань дослідження паспорту спеціальності

Метою дослідження є підвищення ефективності гасіння пожеж за рахунок удосконалення техніки подрібнення води шляхом застосування газодетонаційної технології.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі були поставлені та вирішені наступні задачі:

1. Обґрунтовано та визначено напрями удосконалення техніки гасіння пожежі дрібнодисперсним водяним струменем на підставі проведеного аналізу специфіки застосування дрібнодисперсного водяного струменя для гасіння пожежі.

2. Розроблені математичні моделі та проведено математичне моделювання процесів нагнітання води у ствол установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії з подальшим подрібненням води ударною хвилею та заповненням модельного приміщення дрібнодисперсним водяним струменем.

3. Обґрунтовано експериментальна техніка та проведені дослідження імпульсної системи гасіння пожежі з метання газодетонаційним зарядом.

4. Обґрунтовано експериментальна техніка та проведені дослідження системи пожежогасіння дрібнодисперсним водяним струменем на основі установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії.

5. Проведено оцінювання ефективності застосування установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії та розроблені рекомендації щодо її практичного застосування.

Об'єкт дослідження – процес формування дрібнодисперсного водяного струменя для гасіння пожеж на основі газодетонаційної технології подрібнення води періодично-імпульсної дії.

Предмет дослідження – фізичні та технологічні особливості формування дрібнодисперсного водяного струменя при використанні газодетонаційної технології подрібнення води установкою пожежогасіння періодично-імпульсної дії.

За метою, об'єктом, предметом та завданнями дослідження дисертаційна робота в повній мірі відповідає галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

3. Аналіз змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота загальним обсягом 173 сторінки складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень та скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 146 найменувань і 2-х додатків.

У **вступі** подано загальну характеристику дисертаційної роботи. Обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи та основні завдання дослідження, показано зв'язок з науково-дослідними роботами. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації.

У **першому розділі** проаналізовано фізико-хімічні властивості води як вогнегасної речовини, у тому числі термодинамічні властивості води які є важливими при гасінні пожежі. Проаналізовано та обґрунтовано доцільність застосування суцільного, розпиленого та дрібнодисперсного водяних струменів для гасіння пожеж. Встановлено, що найбільший вогнегасний ефект при гасінні пожежі досягається при подачі води в дрібнодисперсному вигляді, при цьому вогнегасна ефективність води залежить від розміру крапель води (дисперсності) та інтенсивності подачі вогнегасних речовин. Проаналізовані способи розпилення рідини, такі як: гідравлічний, механічний, пневматичний, пульсаційний, ультразвуковий, електростатичний, акустичний, електрогідравлічний та комбінований. Проаналізовані технічні засоби, що використовують пожежно-рятувальні підрозділи для подачі водяного струменя на гасіння пожеж.

Проаналізовано розвиток технології пожежогасіння дрібнодисперсним водяним струменем. Визначено, що одним із ключових чинників, які сприяли розвитку технологій застосування дрібнодисперсного водяного струменя для пожежогасіння, стала відмова від використання галонів (хладонів) відповідно до положень Монреальського протоколу, а також аналіз наслідків пожежі на шведському поромі «Scandinavian Star». Проаналізовано стан застосування засобів пожежогасіння дрібнодисперсним водяним струменем, що використовуються під час гасіння пожеж в Україні. Зазначено, що проєктування, монтування та підтримання експлуатаційної придатності систем дрібнодисперсним водяним струменем повинно відповідати вимогам ДСТУ CEN/TS 14972:2016.

Проаналізовані сучасні технічні засоби пожежогасіння дрібнодисперсним водяним струменем. Встановлена доцільність використання мобільних установок для подачі дрібнодисперсного водяного струменя на гасіння пожеж. Визначено, що недосконалість існуючої техніки подачі й розпилення води знижує її ефективність.

Проведено огляд наукових досліджень щодо процесу розпилення води

під дією ударної хвилі. Проведені в роботі дослідження підтвердили та визначили ефективність подрібнення води ударними хвилями високої інтенсивності. Встановлено, що підвищення інтенсивності ударної хвилі до числа Маха 2 та більше необхідне для ефективного розпилення рідини.

Одним із напрямків вирішення питання щодо застосування дрібнодисперсних водяних струменів при гасінні пожеж у будівлях, запропоновано використовувати установку пожежогасіння періодично-імпульсної дії із застосуванням імпульсного (пульсаційного) способу.

У **другому розділі** представлені дослідження подрібнення води ударною хвилею у стволі установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії та дослідження заповнення модельного приміщення дрібнодисперсним водяним струменем. Обґрунтовано та розроблено математичні моделі, які опрацьовані за допомогою програмного середовища для проведення математичного моделювання процесів нагнітання води у ствол установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії з подальшим її подрібненням ударною хвилею та для заповнення модельного приміщення дрібнодисперсним водяним струменем.

За результатами математичного моделювання процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії встановлено високу інерцію у часі процесів впорскування води по відношенню до газодетонаційних процесів, що відбуваються в установці пожежогасіння. Визначено, що при експлуатації установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії не є доцільним застосовувати імпульсне впорскування води у ствол установки. Встановлено, що процес подрібнення води відбувається не під дією ударної хвилі, а під дією високошвидкісного газового потоку, що рухається за ударною хвилею у стволі установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії.

За результатами математичного моделювання процесу заповнення модельного приміщення дрібнодисперсним водяним струменем встановлено, що час заповнення складає 85 с, а за 100 с відбувається гасіння пожежі за рахунок досягнення густини крапель води у повітрі, при цьому швидкість поширення вогнегасної здатності дрібнодисперсного водяного струменя в модельному приміщенні склала 0,14 м/с. Визначено, що у об'ємі модельного приміщення залишаються області, де концентрація крапель дрібнодисперсного водяного струменя не набуває вогнегасних властивостей.

У **третьому розділі** представлені дослідження установки пожежогасіння з газодетонаційним принципом прискорення рідини. Проведені дослідження із визначення параметрів роботи установки та тактико-технічних характеристик при формуванні дрібнодисперсного водяного струменя. Досліджено розвиток імпульсних систем для гасіння пожеж дрібнодисперсним водяним струменем. Встановлено, що при тиску пропано-кисневого заряду 0,1 МПа та куті нахилу ствола 30° далекобійність водяного струменя перевищила 15 м з максимальним радіусом розкриття струменя до 3 м.

У четвертому розділі представлені дослідження пожежогасіння дрібнодисперсним водяним струменем, що засновані на розпилюванні води продуктами детонації у стволі установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії. У цій установці дрібнодисперсного гасіння пожежі подавання води у ствол здійснюється безперервно, а імпульсне розпилювання води продуктами детонації відбувається з частотою 23–24 Гц. Саме розпилювання води, що подається безперервно, під дією імпульсних газових потоків становить науково-практичний інтерес.

У п'ятому розділі проведені експериментальні дослідження із формування дрібнодисперсного водяного струменя води під дією ударної хвилі. За результатами досліджень встановлена довжина розповсюдження дрібнодисперсного водяного струменя, що склала 34 м. Також визначено, що найбільш інтенсивне осідання крапель води струменя відбувається на довжині 3 м від ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії, при цьому встановлено форму осідання з розмірами $8 \times 1,9$ м. Середньоквадратична витрата води при подачі дрібнодисперсного водяного струменя склала $5,51 \pm 1,914_{0,9}$ л/хв.

Проведені експериментальні дослідження подавання дрібнодисперсного водяного струменя через трубопровід складної конфігурації. За результатами експериментального дослідження підтверджено можливість застосування методу гасіння пожежі дрібнодисперсним водяним струменем для гасіння пожежі у тунелях складної конфігурації із використанням установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії. За результатами проведених досліджень встановлено, що припинення горіння відбулося через 9 с. Повне загасання полум'я відбулося через 25 с від початку включення установки. Під час роботи установки витрата води складе 1800 л/год., що забезпечить відбір тепла із зони пожежі біля 4 ГДж/год. Визначено, що для витіснення повітря та газоподібних продуктів згорання з приміщення розміром $5 \times 3 \times 3$ м необхідно 36 л води. За результатами експериментальних досліджень встановлено час затримки виходу дрібнодисперсного водяного струменя із трубопроводу складної конфігурації в залежності від його загальної довжини, а також витрату води, яка конденсувалася у трубопроводі. Розроблено практичні рекомендації щодо застосування установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії при подачі дрібнодисперсного водяного струменя для гасіння пожеж. Для оцінки ефективності застосування систем пожежогасіння дрібнодисперсним водяним струменем були проведені натурні експерименти, які показали доцільність застосування установок пожежогасіння з газодетонаційною технологією.

Зміст дисертації логічно і послідовно висвітлює етапність наукових досліджень їх проведення та узагальнення результатів, які наведені у висновках до дисертаційної роботи.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Автор добре розуміє специфіку науково-технічних задач, що розв'язані в дисертаційній роботі. В роботі використано комплексний метод досліджень, що включає аналіз та доцільність застосування способів, методів, технічних засобів та технологій пожежогасіння дрібнодисперсними водяними струменями з урахуванням світової практики. Проведене математичне моделювання процесу подрібнення води ударною хвилею у стволі установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії та процесу заповнення модельного приміщення дрібнодисперсними водяними струменями. При цьому математичне моделювання здійснювалося тиско-базисним методом за допомогою програмного середовища. Використання метода Ейлера-Лагранжа дозволило визначити об'ємний склад газового середовища при подаванні дрібнодисперсного водяного струменя у модельне приміщення. Отримані результати математичних досліджень оброблялися з використанням програмного середовища, при обробці результатів експериментальних досліджень застосовувалися статистичні методи.

Слід зазначити, що вибір напряму дослідження, формулювання його завдань, а також наукові положення й рекомендації, викладені у висновках за розділами та у загальних висновках, мають наукове підґрунтя та обґрунтовані на основі аналізу, узагальнення наявних напрацювань і власних теоретичних та експериментальних результатів автора.

5. Достовірність результатів наукових досліджень

Достовірність наукових положень дисертації зумовлена коректністю постановки математичних задач та методів їх розв'язання, порівняльним аналізом результатів, отриманих за допомогою розробленої математичної моделі та правильним підбором методів при проведенні експериментальних досліджень при подачі дрібнодисперсного водяного струменя за допомогою газодетонаційної технології.

6. Наукова новизна отриманих результатів

В дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача у сфері пожежної безпеки, а саме підвищення ефективності гасіння пожеж дрібнодисперсним водяним струменем за рахунок використання установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії за принципом газодетонаційної технології.

При проведенні дисертаційних досліджень отримано нові наукові результати:

1. Вперше виявлено особливості заповнення модельного приміщення дрібнодисперсним водяним струменем із розміром крапель 5 мкм з визначенням швидкості поширення вогнегасної здатності дрібнодисперсного водяного струменя у модельному приміщенні.

2. Вперше на основі теоретичних розрахунків виявлено, що основний процес подрібнення води відбувається не під дією ударної хвилі, а під дією високошвидкісного газового потоку, що рухається за ударною хвилею.

3. Удосконалено методи подачі вогнегасних речовин в осередок пожежі за рахунок створення дрібнодисперсного водяного струменя через трубопроводи складної конфігурації, а також встановлено відсоток води, що конденсується у трубопроводі.

4. Удосконалено метод формування дрібнодисперсного водяного струменя за рахунок безперервного подавання води у ствол та періодичної дії на цівки води у стволі інтенсивними ударними хвилями з періодичністю 23 Гц та вище з виявленням ефективного розпилення води, що розтікається вздовж стінок ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії.

5. Набула подальшого розвитку техніка пожежогасіння дрібнодисперсним водяним струменем за рахунок газодетонаційного принципу прискорення рідини, яка дозволяє багаторазово скоротити витрату заряду для прискорення вогнегасної речовини.

Досягнуті наукові результати здатні підвищити ефективність гасіння пожеж дрібнодисперсним водяним струменем за рахунок використання установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії за принципом газодетонаційної технології, що є актуальним науково-практичним заданням у сфері пожежної безпеки, у вирішенні якого зацікавлені пожежно-рятувальні підрозділи та суб'єкти господарювання.

7. Практичне значення отриманих результатів.

Отримані в роботі теоретичні та експериментальні результати дозволяють стверджувати про доцільність та ефективність використання дрібнодисперсного водяного струменя для гасіння пожеж. За результатами експериментального дослідження підтверджено можливість застосування методу гасіння пожежі дрібнодисперсним водяним струменем для гасіння пожежі у конструкціях складної конфігурації із використанням установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії.

Розроблені математичні моделі та проведене математичне моделювання дозволяє вирішувати задачі, щодо врахування процесів нагнітання води до ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії з подальшим її подрібненням ударною хвилею та при заповненні модельного приміщення дрібнодисперсним водяним струменем при розмірі крапель 5 мкм.

Результати досліджень впроваджено в практичну діяльність пожежно-рятувальних підрозділів Головних управлінь ДСНС України у Сумській та Харківській областях.

Окрім пожежно-рятувальних підрозділів наукові та практичні результати дисертаційної роботи можуть бути використані суб'єктами господарювання з метою своєчасного та ефективного реагування на виникнення пожеж, у тому числі в умовах ведення бойових дій.

8. Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

Результати досліджень, що були отримані за темою дисертації, опубліковано у 29 наукових працях, зокрема 10 статей у наукових фахових виданнях України (з них 3 – у виданнях, що індексуються в міжнародній наукометричній базі Scopus), 18 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях, а також отримано 1 патент України на корисну модель.

Представлена на розгляд дисертаційна робота являє собою одноосібно написану кваліфікаційну наукову роботу.

Дисертаційна робота написана зрозумілою мовою для фахівців у галузі цивільної безпеки та належним чином оформлена. Наприкінці кожного розділу роботи наведені відповідні висновки. Стиль, мова, оформлення дисертації відповідають вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії та демонструють вміння автора стисло та чітко викладати теоретичні та експериментальні результати наукової роботи.

9. Зауваження до дисертації

Незважаючи на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, слід зазначити на деякі зауваження:

1. У другому розділі робити при проведенні математичного моделювання процесу подрібнення цівки води у стволі установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії під дією ударної хвилі на рисунках 2.10 – 2.15 не позначено звідки починається напрямок поширення супутнього газового потоку та подача води у ствол установки.

2. В третьому розділі роботи на рисунках 3.4 – 3.5 «Результати вимірювання тиску, що виникає у зарядній секції, з початковим тиском заряду 0,1 МПа (0,15 МПа)...» не вказано як відбувалося визначення тиску.

3. В п'ятому розділі робити проведені експериментальні дослідження подавання дрібнодисперсного водяного струменя через трубопровід складної конфігурації, де в якості трубопроводу використовувалися труби ПВХ діаметром 160 мм, при цьому не обґрунтовано вибір саме цього діаметру для проведення дослідження.

4. В п'ятому розділі робити наведена конструкція розбірної проміжної ємності для зберігання рідини, але не описано механізм її застосування із установкою пожежогасіння періодично-імпульсної дії.

Проте, зазначені вище зауваження не є принциповими і в цілому не знижують наукової та практичної цінності дисертаційного дослідження.

10. Загальна оцінка дисертаційної роботи

Дисертаційна робота КРИВОРУЧКА Євгена Миколайовича «Удосконалення техніки гасіння пожежі дрібнодисперсним водяним струменем» є завершеною науковою роботою в галузі цивільної безпеки. Рівень вирішення поставлених в роботі завдань свідчить, що здобувач

повною мірою володіє методологією наукової діяльності та сформувався як дослідник.

Таким чином, дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор КРИВОРУЧКО Євген Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

Офіційний опонент:

старший викладач кафедри інформаційної безпеки
Навчально-наукового фізико-технічного інституту
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,
доктор технічних наук

