

Голові разової спеціалізованої
вченої ради ДФ 64.707.057
Національного університету цивільного
захисту України,
д.т.н., професору Євгенію Рибці
м. Харків, вул. Чернишевська, 94, 61023

ВІДГУК **офіційного опонента**

начальника науково-дослідного центру протипожежного захисту
Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного
захисту доктора технічних наук, професора Ніжника Вадима Васильовича
на дисертаційну роботу Максименка Максима Володимировича
«Підвищення ефективності реагування на надзвичайні ситуації
техногенного характеру унаслідок пожеж на об'єктах зберігання
нафтопродуктів», поданої на здобуття наукового ступеня доктора
філософії в галузі знань 26 Цивільна безпека за спеціальністю
263 Цивільна безпека

1. Актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами, темами

Пожежі на об'єктах зберігання нафти і нафтопродуктів є одними з
найнебезпечніших надзвичайних ситуацій, що призводять не тільки до
значних матеріальних збитків, але й становлять загрозу для людей та
навколишнього середовища. Накопичення великої кількості
легкозаймистих та горючих рідин, що зберігаються в резервуарах великих
об'ємів, підвищує небезпеку поширення пожежі на сусідні резервуари за
відсутності своєчасної локалізації та ліквідації осередку горіння.
Економічні міркування не дозволяють розміщувати резервуари на таких
відстанях, щоб пожежа в одному з резервуарів не загрожувала іншим.
Незважаючи на заходи безпеки, що приймаються, пожежі в резервуарних
парках все одно трапляються. Зокрема, в Україні, до початку
повномасштабної російської агресії великі пожежі траплялися один раз на
кілька років. Прикладом може слугувати пожежа на нафтобазі «БРСМ-
нафта» (Васильківський район, Київська обл.) у 2015 році, коли внаслідок
пожежі загинули 6 осіб, в тому числі 4 пожежних. З початком війни склади
зберігання нафти і нафтопродуктів стали однією з пріоритетних цілей при
атаках по енергетичній інфраструктурі. Лише за період з 24 лютого 2022 р.
по 1 квітня 2022 р. зареєстровано 14 пожеж в резервуарних парках на
території Волинської, Житомирської, Київської, Луганської, Львівської,
Миколаївської, Рівненської, Харківської, Хмельницької областей. Всі вони
стали наслідком обстрілів.

Загроза розповсюдження пожежі на сусідні резервуари вимагає
термінового охолодження резервуарів, сусідніх з тим, що горить. Це

ставить перед керівником гасіння пожежі складне питання: не лише визначити резервуари, які підлягають охолодженню, а й визначити необхідну інтенсивність подачі води. Існуючі рекомендації щодо подачі води на охолодження не враховують типу рідини, що горить, а також метеорологічних умов (напрямку і швидкості вітру), що істотно впливає на щільність теплового потоку від пожежі до певного резервуара. З іншого боку, дефіцит техніки, особового складу, води не дозволяє надлишкових витрат води на охолодження.

Отже, підвищення ефективності реагування на надзвичайні ситуації техногенного характеру унаслідок пожежі на об'єкті зберігання нафтопродуктів є актуальною науково-практичною задачею.

Крім того актуальність роботи підкреслюється і тим, що вона виконувалася відповідно до «Плану наукової та науково-технічної діяльності ДСНС України на 2019 рік» та Указу Президента України №722/2019 від 30 вересня 2019 року «Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 року», у рамках науково-дослідної роботи «Розробка методу запобігання каскадному розповсюдженню пожежі в резервуарному парку» (№ ДР 0122U000007), в якій Максименко М.В. був відповідальним виконавцем.

2. Структура, зміст, та оформлення дисертації.

Дисертаційна робота викладена на 189 сторінках і складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 88 найменувань і 2 додатків, містить 68 рисунків та 10 таблиць.

У *вступі* обґрунтовано актуальність напрямку досліджень за обраною темою; зазначено зв'язок з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету і задачі дослідження; наведено наукову новизну та практичну значущість роботи; вказано особистий внесок здобувача; наведено відомості про публікацію і апробацію результатів здобувачем.

У *першому* розділі наведено загальну характеристику резервуарів і резервуарних парків. Проаналізовано статистику пожеж у резервуарних парках, при цьому особливу увагу приділено пожежам, що сталися внаслідок обстрілу в ході повномасштабної російської агресії. Розглянуто реагування на надзвичайні ситуації, що включає в себе дії щодо локалізації зони надзвичайної ситуації, а також ліквідації або мінімізації її наслідків. Стосовно резервуарних парків це означає, по-перше, охолодження резервуарів, що горять, та сусідніх з ними, а по-друге, підготовку і проведення піної атаки. Аналіз моделей теплового впливу пожежі нафтопродукту в резервуарі на сусідні резервуари засвідчив, що охолодження резервуарів водою при пожежі залишається недостатньо дослідженим. Це може призводити до похибки в оцінці необхідної інтенсивності подачі води на охолодження стінок резервуарів.

В *другому* розділі обґрунтовано припущення і побудовано модель нагріву сухої стінки (вище рівня рідини в резервуарі) і покрівлі резервуара

під тепловим впливом пожежі в сусідньому резервуарі. Модель враховує променевий теплообмін зовнішньої поверхні стінки резервуара з факелом та навколишнім середовищем, внутрішньої поверхні стінки з внутрішнім простором; конвекційний теплообмін з навколишнім повітрям і пароповітряною сумішшю в газовому просторі резервуара. Знайдено значення коефіцієнта взаємного опромінення між полум'ям пожежі і стінкою резервуара, а також між полум'ям і покрівлею резервуара. Побудовано оцінки для коефіцієнта конвекційного теплообміну для стінки і покрівлі резервуара як в умовах вітру (вимушена конвекція), так і за його відсутності (вільна конвекція).

В *третьому* розділі розглянуто охолодження стінки і покрівлі резервуара внаслідок стікання води по ним. Побудовано рівняння теплового балансу для водної плівки, визначено коефіцієнт конвекційного теплообміну між водною плівкою та стінкою і покрівлею. Показано, що коефіцієнт конвекційного теплообміну залежить від інтенсивності подачі води на охолодження стінки або покрівлі резервуара. Проведено експериментальну перевірку моделі нагріву і охолодження сталеві стінки в умовах пожежі за допомогою зменшеної моделі з горінням дизельного палива в піддоні $1,0 \times 1,5 \text{ м}^2$. З'ясовано, що як під час нагрівання, так і під час охолодження розраховані значення температури стінки потрапляють в довірчій інтервал, що відповідає довірчій ймовірності 0,95.

В *четвертому* розділі сформульовано і розв'язано задачу вибору мінімально можливої інтенсивності подачі води на охолодження резервуара, яка забезпечує охолодження стінки і покрівлі до безпечних значень температури. Розрахована інтенсивність подачі води дозволяє перейти до визначення сил та засобів, які можуть забезпечити її: тип і кількість стволів; кількість особового складу; кількість автоцистерн. Отримані результати можуть бути безпосередньо застосовані в практичній діяльності оперативно-рятувальних підрозділів при локалізації і ліквідації пожеж в резервуарних парках.

В *загальних висновках* сформульовано найвагоміші наукові результати, отримані в кожному розділі дисертаційної роботи.

Дисертація Максименка М.В. є закінченим науковим дослідженням в галузі цивільної безпеки. Вона написана українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Зміст роботи відповідає її назві, наукові завдання є логічно пов'язаними, сформульовані чітко і їх кількість є достатньою для розкриття теми дисертації та досягнення поставленої мети. Стиль викладення матеріалів дослідження відповідає чинним вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня. Усі винесені на захист положення, результати та висновки висвітлені в тексті в тексті дисертації. Графічний матеріал виконано на високому рівні з використанням комп'ютерних програм. Зміст висновків у повній мірі розкриває основні результати проведеного дослідження.

Порушень академічної доброчесності в дисертації не виявлено. Для використаних в тексті формулювань, результатів, висновків і даних інших

авторів є посилання на відповідні джерела інформації та дотримано норми законодавства України про авторське право.

3. Наукова новизна, обґрунтованість та достовірність отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів визначається особистим внеском автора у вирішення важливої науково-практичної задачі в галузі цивільної безпеки, а саме підвищення ефективності реагування на надзвичайні ситуації техногенного характеру унаслідок пожежі на об'єкті зберігання нафтопродуктів шляхом оптимального вибору сил та засобів для охолодження сусідніх резервуарів.

Найбільш вагомими результатами дослідження, що становлять наукову новизну, розкривають суть роботи, та виносяться на захист, є наступні.

Вперше

– поставлено і розв'язано задачу оптимального вибору сил та засобів для подачі води для охолодження стінок і покрівлі резервуара, сусіднього з тим, що горить. При цьому критерієм оптимізації є мінімум витрат води або мінімум задіяного особового складу, або автоцистерн, а обмеженням – охолодження стінки та покрівлі резервуара до безпечної температури.

Удосконалено

– модель охолодження стінок і покрівлі резервуара водою в умовах пожежі в сусідньому резервуарі. Модель спирається на рівняння теплового балансу для стінки або покрівлі і рівняння теплового балансу водної плівки, що стікає по ній. Модель дозволяє визначити розподіл температур по стінці або покрівлі та по водній плівці.

Набула подальшого розвитку

– модель теплового впливу пожежі в резервуарі з нафтопродуктами на сусідні резервуари. Побудована модель враховує теплообмін резервуара, що нагрівається, випромінюванням з факелом, навколишнім середовищем і внутрішнім простором резервуара, а також конвекційний теплообмін з навколишнім повітрям і пароповітряною сумішшю в газовому просторі резервуара. Особливістю моделі є врахування нахилу факела вітром.

Обґрунтованість отриманих в роботі результатів підтверджується значною кількістю проаналізованих здобувачем наукових праць за темою дослідження, нормативно-правових актів, що висвітлюють теорію і практику організації ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру унаслідок пожеж на об'єктах зберігання нафтопродуктів. В роботі використовуються методи математичного аналізу, методи теорії теплообміну, методи розв'язання задач оптимізації.

Запропоновані в роботі моделі нагріву стінки і покрівлі, а також моделі їх охолодження водою перевірені експериментально. Порівняння розрахункових і експериментальних значень свідчить про їх задовільну збіжність. Теоретичні висновки не суперечать сучасним уявленням про досліджувані явища, експерименти проведено коректно з використанням

методів статистичної обробки їх результатів. Все це дає підстави стверджувати, що наукові результати, висновки і рекомендації, які сформульовані у дисертації, в достатній мірі обґрунтовані і достовірні.

Отримані результати повністю відповідають темі дисертаційної роботи.

4. Практичне значення та шляхи використання результатів дослідження

Практична цінність отриманих наукових результатів полягає в тому, що вони є ефективним інструментом вирішення важливих задач цивільного захисту, пов'язаних з реагуванням та ліквідацією наслідків надзвичайних ситуацій унаслідок пожеж на об'єктах зберігання нафтопродуктів. Розроблене математичне та програмне забезпечення дозволяє з достатньою точністю прогнозувати розподіл температур по поверхні резервуарів при пожежі в сусідньому резервуарі, а також визначати необхідну інтенсивність подачі води на його охолодження в залежності від умов пожежі (тип рідини, що горить; напрямок і швидкість вітру).

Використання розробленого програмного засобу керівником гасіння пожежі дозволить оперативно отримувати інформацію щодо загрози розповсюдження пожежі на сусідні резервуари, визначати необхідну інтенсивність подачі води для охолодження резервуарів, сусідніх з тим, що горить, а також визначати необхідні для цього сили та засоби.

Основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи доведено до рівня конкретних алгоритмів дій, програмної продукції та прикладних рекомендацій, що дозволяє використання отриманих наукових та практичних результатів практичними працівниками без спеціальної підготовки.

Основні результати роботи впроваджено в 6-му і 8-му ДПРЗ ГУ ДСНС України у Луганській області, а також в навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України.

5. Повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих працях.

За темою дисертації опубліковано 15 наукових праць, а саме: 6 статей у наукових фахових виданнях України, 8 тез доповідей, 1 патент України на корисну модель.

Автор здійснив апробацію своїх наукових результатів на 8 наукових конференціях державного та міжнародного рівнів: Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту», м. Харків, 2021 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми пожежної безпеки 2022», м. Харків, 2022 р.; XII Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю, м. Черкаси, 2022 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Problems of Emergency Situations», м. Харків, 2023 р.; XVIII Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів, м. Львів, 2023 р.; III Всеукраїнській

науково-практичній конференції «Актуальні проблеми та перспективи розвитку фундаментальних, прикладних, загальнотехнічних та безпекових наук», Київ, 2023 р.; XV Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» м. Черкаси, 2024 р.

В опублікованих працях повністю розкрито суть та зміст наукових положень, представлених до захисту. У публікаціях у співавторстві особистий внесок здобувача відображено відповідно до отриманих ним особисто результатів.

Кількість, обсяг та зміст друкованих праць відповідають вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії та надають авторові право публічного захисту дисертації.

6. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації.

Представлена дисертаційна робота, незважаючи на достатньо високий науковий рівень її виконання, характеризуються наявністю певних недоліків та дискусійних положень, а саме:

1. Процесам горіння і, відповідно, тепловому потоку від пожежі притаманний випадковий характер, що засвідчив наведений в роботі експеримент (с. 137–138). Тим не менш, побудовані моделі цієї особливості не враховують.
2. При розв'язанні задачі оптимального вибору сил та засобів розглядаються лише стандартні значення напору подачі води: 40 м і 60 м (табл. 4.5, табл. 4.6). Доцільно було б розглянути також і проміжні значення.
3. В п. 4.4 при описанні розробленого програмного продукту для кращого розуміння його особливостей і функціоналу було б доцільно навести структурну схему і приклади застосування та зазначити ряд важливих характеристик: мову програмування, параметри швидкодії тощо. Не підкреслено його переваги перед існуючими аналогами.
4. Затяжним пожежам в резервуарних парках притаманне одночасне горіння в кількох резервуарах. Це посилює тепловий вплив на сусідні резервуари і істотно ускладнює дії оперативно-рятувальних підрозділів. Бажано було б розширити запропоновані в роботі моделі і алгоритми на такий випадок.
5. В роботі розраховано щільність теплового потоку випромінюванням від пожежі до покрівлі і стінки сусідніх резервуарів, але поза увагою залишено розподіл щільності теплового потоку навколо резервуара, що горить. Це не дозволяє визначити зони безпечного розташування сил та засобів, що приймають участь в локалізації і ліквідації пожежі.

Відмічені зауваження та недоліки не впливають на загальне позитивне сприйняття дисертаційної роботи, не знижують її наукової і практичної цінності.

7. Загальний висновок.

Дисертаційна робота Максименка Максима Володимировича є самостійною та завершеною науковою роботою, виконаною особисто здобувачем у вигляді кваліфікаційної наукової праці на правах рукопису. Дисертаційне дослідження містить науково обгрунтовані теоретичні та практичні результати, характеризується єдністю змісту та свідчить про особистий внесок автора. Зміст дисертації відповідає галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 263 «Цивільна безпека». Автор оволодів методикою наукових досліджень, що дозволило йому впевнено виконати поставлені в роботі завдання.

Таким чином, дисертаційна робота «Підвищення ефективності реагування на надзвичайні ситуації техногенного характеру унаслідок пожеж на об'єктах зберігання нафтопродуктів» за актуальністю обраної теми, обсягом і рівнем теоретичних і експериментальних досліджень, достовірністю та обгрунтованістю висновків, науковою новизною, значенням отриманих результатів для науки і практики задовольняє вимогам наказу МОН України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» (зі змінами від 12.07.2019 р.) та Постанови Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами від 08.05.2024 р.), які висуваються до дисертацій, а її автор Максименко Максим Володимирович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 26 Цивільна безпека за спеціальністю 263 Цивільна безпека.

Офіційний опонент:

начальник науково-дослідного
центру протипожежного захисту
Інституту державного управління
та наукових досліджень
з цивільного захисту
доктор технічних наук, професор



Вадим НІЖНИК

Підпис Ніжника В.В. засвідчую:
Заступник начальника ІДУ НД ЦЗ
з наукової роботи,
канд. техн. наук, с.н.с.



Віталій КОВАЛЕНКО