

УДК 641.841

К. М. Остапов, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-1275-741X)
Ю. М. Сенчихін, к.т.н., професор, проф. каф. (ORCID 0000-0002-5983-2747)
В. Г. Аветісян, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-5986-2794)
І. М. Грицина, к.т.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-2581-1614)
Ю. І. Гапоненко, викл. каф. (ORCID 0000-0003-0854-5710)
Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ПЕРЕВАГ УНІВЕРСАЛЬНОГО ГУСЕНИЧНОГО ПОЖЕЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Доведено тактико-технічні переваги гусеничних пожежних машин, за допомогою вирішення практичних завдань прийняття раціональних рішень під час гасіння пожеж та проведення аварійно-рятувальних робіт в екстремальних умовах воєнних дій. На конкретних прикладах створення пожежного танка, дослідних установок «Імпульс» виявлено основні недоліки, що заважають їхньому застосуванню. Запропоновано ескізний проект універсальної гусеничної пожежної машини на шасі малого тягача легкого бронювання з інноваційним поділом пакета стволів артилерійської системи «Град» на два пакети, що мають можливість незалежно один від одного змінювати кути наведення їх на ціль з піднесення щодо горизонту та по азимуту. Перспективна машина здатна гасити звичайні та складні пожежі водою, піною та порошком, а також вести аварійно-рятувальні роботи в будівлях та спорудах на зруйнованих війною територіях міст. Цим створені передумови для поповнення парку пожежних машин новими гусеничними пожежними машинами з підвищеними тактико-технічними характеристиками. Проведено дослідження тактико-технічного забезпечення до базового модуля імпульсного пожежогасіння універсальної гусеничної пожежної машини. З точки зору теорії прийняття рішень та методів статистики, зроблено якісний аналіз та уточнено прийоми безпечної роботи особового складу рятувальників з універсальною гусеничною пожежною машиною. З метою створення тактико-технічного забезпечення рекомендовано до її обладнання додати бортовий комп'ютер, щоб оперативно користуватися розробленим програмним продуктом, щодо використання інтерполяційних поліномів Лагранжа при визначенні по експериментальних реперних точках найбільш точних траєкторій руху будь-яких вогнегасних речовин, які подаються безперервно або імпульсно на ціль по азимуту і під кутом до горизонту. Наведено приклади та рекомендації тактики застосування модуля імпульсного порошкового пожежогасіння.

Ключові слова: гусенична пожежна машина, порошкове пожежогасіння, вогнегасна речовина, прийняття рішень, тактика

1. Вступ

В умовах гібридних військових дій, з якими зіткнулися українські пожежні підрозділи, захищаючи разом із Збройними Силами України свої міста та промислові центри від російської агресії, особливої важливості у пожежній справі набуває вибір найбільш раціональних рішень при гасінні пожеж та веденні аварійно-рятувальних робіт, з неодмінним забезпеченням безпечного їх виконання. У рівній мірі це стосується як вибору і комплексного використання сил і засобів пожежних-рятувальників, так, і розробки тактичного забезпечення, що застосовується в екстремальних ситуаціях (інструкцій по гасінню пожеж та ведення аварійно-рятувальних робіт).

У військовій сфері цей підхід сформувався під час Другої світової війни і носить назву теорії прийняття рішень [1]. У певному сенсі до цього напряму в науці можна віднести і оперативні документи пожежних такі, як інструкції зі складання планів і карток пожежогасіння та інші [2], які зараз, під час жахливої війни з Росією, набувають особливої важливості. При цьому, відсутність броньованих

пожежних машин з покращеними тактико-технічними характеристиками (ТТХ), експлуатація яких прийнятна в межах міста, та недостатня глибина опрацювання тактичних завдань гасіння пожеж у надзвичайно небезпечних умовах війни, ускладнює приймати раціональні рішення, фактично не захищеним пожежним-рятувальникам.

Актуальність проблеми складається з сукупності до цього часу не доведених до діалектичного вирішення взаємозв'язаних практичних питань, що пов'язані: з одного боку – з браком захищеності від враження небезпечними факторами пожежі (НФП) особового складу пожежних-рятувальників, при чому – тим ефективніше, чим ближче вони розташовуються поблизу НФП; з другого боку – з недостатньою цільовою влучністю та синергією подавання вогнегасної речовини. Крім того, теоретична оперативність вирішення цієї проблеми з іншими супутніми практичними питаннями, за допомогою бортового комп'ютера, можлива лише з розробкою таких пожежних машин, які зможуть забезпечити не тільки безпечно для особового складу наближення до об'єктів пожежогасіння, а і збереженням влучності потрапляння ВР на осередки пожеж, а також надання допомоги населенню, які постраждали внаслідок бойових дій, що досягається високої прохідністю ландшафтом зруйнованих будівель і споруд та наявністю фільтровентиляційних установок, що дозволяють вести роботи у зоні небезпечного зараження.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Фахівці Державної служби України з надзвичайних ситуацій працюючи над теоретичними та практичними завданнями тактики пожежогасіння, і раніше керувалися досвідом, інтуїцією, загально визнаними методами розрахунку сил та засобів [3]. Такий підхід не втратив і не може втратити сенсу хоча б тому, що це найбільш доступний метод прийняття рішень – метод «проб і помилок». Однак, в екстремальних умовах військового протистояння, за інтенсивного розвитку техніки, з розширенням масштабів і галузі застосування пожежонебезпечних матеріалів і технологій, а також при надзвичайно широкому, взаємопов'язаному різноманітті тактико-технічних особливостей проведення пожежно-рятувальних робіт стає важко приймати інтуїтивні рішення, навіть, досвідченим пожежним.

У роботі [4] гусеничні пожежні машини (ГПМ) розглядалися як перспективні, оскільки базуються на високопрохідних та маневрених шасі танків та бронетранспортерів. Зокрема, для дослідних установок "Імпульс-2" та "Імпульс-3" застосовувалися конверсійні шасі танка Т-62. У них, за рахунок енергії вибуху порохових зарядів, поміщених разом з вогнегасним порошком (ВП) у стволі пакета стволів машин, подібних до системи «Град», здійснювалося імпульсне метання порошку залпом на відносно великі площі та далекі відстані (50–100 м). Разом з тим, до цих установок не було створено адекватного тактичного забезпечення, що не сприяло їх впровадженню у практику пожежогасіння, як це трапилося з пожежним танком.

У роботі [5] запропоновано ГПМ, яка застосовується до теперішнього часу, вона була створена на Львівському танкоремонтному заводі за зразком пожежної автоцистерни АЦ-40. Для неї не потрібно особливого тактичного забезпечення. Основним недоліком запропонованої гусеничної пожежної машини є її вузька спрямованість гасіння пожеж тільки водою.

У роботі [6] запропоновано машину типу «Імпульс», у якій з міркувань стійкості та міцності окремих вузлів та деталей дослідних установок кількість

стволів, що використовуються в одному залпі, не перевищувала 20 одиниць. Що стосується недоліків дослідних екземплярів машин типу «Імпульс», то сучасний тактичний аналіз дозволяє встановити наступне: чим більша площа та відстань на яку здійснюється імпульсне метання ВП, тим менша ефективність його взаємодії з осередком пожежі. Так як зі збільшенням дальності і площі пожежі знижується концентрація кількості вогнегасної речовини, що припадає на одиницю об'єму/площі, що обробляється, і це очевидно, є головним їх недоліком. Підвищити її, можливо, але тоді слід скорочувати дистанцію до вогнища пожежі або збільшувати кількість задіяних залпом стволів у пакеті.

З урахуванням недоліків попередніх машин, до яких належить їх вузька спрямованість гасити тільки водою, піною або тільки порошком, і розвиваючи ідею імпульсного порошкового пожежогасіння в роботі [7] була створена потужніша гусенична пожежна машина із встановленими в ряд чотирма стволами та використанням в якості шасі важкого бронетранспортера. Ця ГПМ здійснювала пневмометання практично такого ж обсягу ВП, але на менші відстані. Крім цього, основним недоліком даної гусеничної пожежної машини є відсутність розробленого до неї тактико-технічного забезпечення.

Разом з цим, до недоліків розглянутих ГПМ треба віднести відсутність можливості при гасінні пожеж проводити аварійно-рятувальні роботи і, безумовно, факт епізодичності процесу порошкового гасіння, пов'язаний не з числом стволів підготовлених до залпу, а з реаліями неможливості оперативно їх перезаряджати вогнегасними зарядами.

У роботі [8] запропоновано використання пожежного танка, у якого добре апробоване типове пожежне обладнання, призначене для безперервної подачі води або піни на вогнища загоряння. Недоліком пожежного танка є відсутність у арсеналі засобів імпульсного порошкового пожежогасіння. Загальним недоліком всіх ГПМ є їхня велика вага. Також відсутність можливості проводити аварійно-рятувальні роботи, пов'язані з високим питомим тиском гусеничного обводу на дорожню основу, що робить їх застосування в міських умовах проблематичним.

Таким чином, для безпечного та ефективного гасіння пожеж та рятування людей в складних умовах та під час воєнних дій, слід мати в арсеналі пожежних-рятувальників, гусеничні пожежні машини з високими тактико-технічними характеристиками, а також створити до них необхідне тактичне забезпечення.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є створення передумов до поповнення парку пожежних машин універсальною гусеничною пожежною машиною із підвищеними тактико-технічними характеристиками.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- розробити ескізний проект універсальної гусеничної пожежної машини на шасі малого тягача легкого бронювання;
- дослідити тактико-технічне забезпечення до базового модуля імпульсного пожежогасіння універсальної гусеничної пожежної машини.

4. Матеріали та методи дослідження

Предметом дослідження є теоретичні основи створення тактичного забезпечення базового модуля імпульсного пожежогасіння універсальної гусеничної машини. Об'єкт дослідження – це малий тягач легкого бронювання

(МТЛБ) на гусеничному шасі та його пожеже-технічне обладнання. Гіпотеза дослідження – адекватність процесів імпульсного подання вогнегасних речовин (ВР) на осередок вогню за допомогою порохових зарядів та їх пневмометання. До апаратних засобів відносяться фото-відео апаратура, а саме відеокамера SONY HDR-CX405 Black та мірильний інструмент довжин (вимірювальна рулетка Stanley Fiberglass 20 м x 12.7 мм), кутів (кутомір Topex 31C700) та штатний ноніус повертання башти МТЛБ на 360 °.

Насамперед, було проведено уточнюючий аналіз висновків із матеріалів випробувань «Імпульс-3» [4]. По кадрах кінограм натурних зйомок імпульсного метання ВР уточнено особливості перетворень у часі параметрів потоку вогнегасного порошку, що рухається на модельне вогнище – «хмари ВР» (рис. 1).

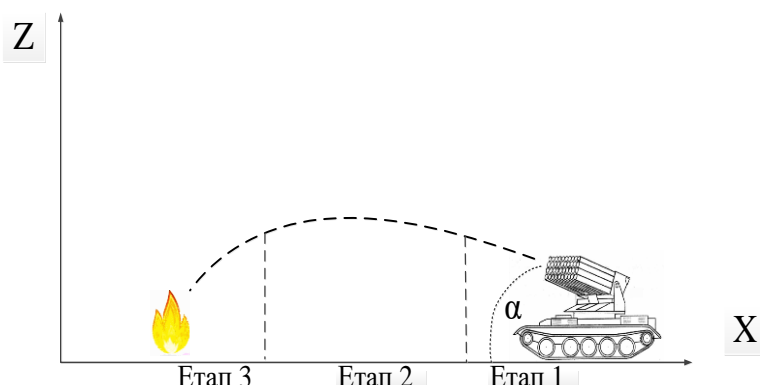


Рис. 1. Уточнений вид положення псевдо осі параболічного еліпсоїда для «хмари ВР», що подається до осередку пожежі «Імпульс-3»

На їх підставі, до вже отриманих висновків нами внесено доповнення:

1) у складі головних, стабільно повторюваних моментів у русі «хмари ВР», імпульсно поданого з установок типу «Імпульс», відзначимо те, що його випукла параболічна еліпсоїда з часом істотно змінює свої геометричні параметри. Також його «псевдоосьова» лінія в силу дії сил опору повітря і сил ваги частинок ВР «деформується» під час його руху від початку прямої лінії (спочатку пострілу) до пологої кривої виду параболи (рис. 2);

2) причому, довжина цієї «хмари» та її обсяг (з урахуванням діаметра серединної частини поблизу точки максимуму висоти його псевдоосі) зростають, до моменту втрати своєї лінійної швидкості переміщення, аж до повного припинення руху «хмари ВР», з подальшим осадженням порошку на площу своєї проекції у вигляді еліпса;

3) зі зменшенням маси «вихідного» порохового заряду (або перепаду тисків при пневмометанні ВР) кінцева довжина псевдоосі «хмари ВР» коротшає, а при деякому критично мінімальному значенні потік ВР не формується. Порошок просто зсипається одразу за зрізом стволів пакета.

Аналогічного слід очікувати і у разі залучення 2×10 стволів універсальної гусеничної машини.

5. Розробка ескізного проекту універсальної гусеничної пожежної машини

Зважаючи на наслідки військового зіткнення України та Росії, було запропоновано виключити основну незручність використання гусеничних машин у межах міста – пошкодження вуличного дорожнього покриття, що пов'язано з питомим тиском на нього гусеничного обводу. Разом з цим, – по максимуму

використовувати основні переваги ГПМ, а саме: безпечно для особового складу наближення до об'єктів пожежогасіння та надання допомоги населенню, яке постраждало в результаті бойових дій, прохідність у ландшафті зруйнованих будівель і споруд, наявність фільтровентиляційних установок в ГПМ, що дозволяє вести роботи в зоні небезпечного зараження, досить велику енергоозброєність та ін.

В результаті досліджень було розроблено ескізний проект універсальної гусеничної пожежної машини на шасі малого тягача легкого бронювання;

У зв'язку з цим запропоновано ескіз (рис. 2) універсальної ГПМ. Універсальна ГПМ містить: гусеничне шасі 1 з пакетами стволів верхній 2 і нижній 3, що мають можливість незалежного повороту нижнього відносно верхнього в площинах розташованих у ряди стволами 4. Причому, один з пакетів (верхній) розміщений над іншим (нижнім) у цапфах 5, які разом з опорами 6 жорстко прикріплені до корпусу шасі. Це дозволяє верхньому пакету незалежно від нижнього змінювати кут свого піднесення, за допомогою, пов'язаних з ним механізмами наведення на ціль піднесення.

А нижній пакет розміщений під верхнім і за допомогою своїх цапф 7 з опорами 8 свого пакета приєднаний до платформи 9 баштового погону. Так, що, у свою чергу, є можливість нижньому пакету незалежно від верхнього щодо нього зміщуватися і змінювати свій кут піднесення своїм механізмом наведення на ціль з піднесення. При цьому поворотна платформа баштового погону пов'язана з механізмом наведення нижнього пакета на ціль по азимуту, а механізми управління рухом шасі відповідно пов'язані з механізмом наведення на ціль верхнього пакета по азимуту.

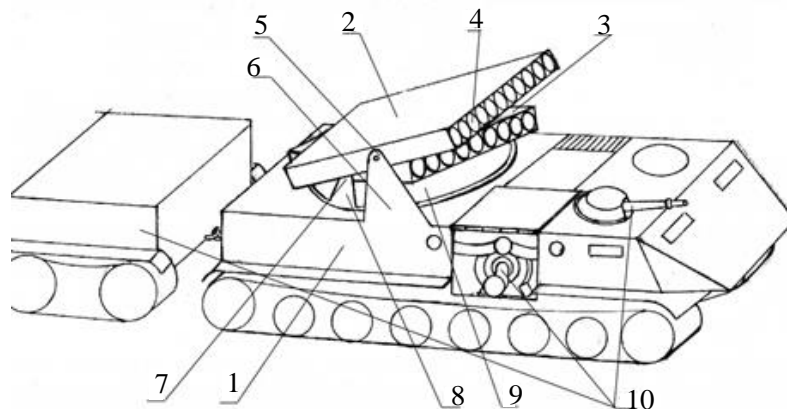


Рис. 2. Схема конструкції універсальної гусеничної пожежної машини

Цей базовий модуль універсальної гусеничної пожежної машини працює наступним чином: універсальна гусенична пожежна машина висувається на вихідну позицію і розташовується на розрахунковій тактично дистанції від вогнища пожежі, щоб імпульсно-подоваємий порошок раціональним чином «накрив» ціль. Для цього механік-водій по команді орієнтує по азимуту на ціль шасі 1 разом з верхнім пакетом 2 так, щоб «оператор-стрілок» за допомогою своїх механізмів наведення «повернув» до цілі на розрахунковий кут по азимуту стволи нижнього пакета. Потім, за допомогою механізмів наведення обох пакетів за підвищенням забезпечив найбільш повне охоплення площі пожежі. Нарешті, зробив залпове метання вогнегасного порошку на осередок пожежі.

З ескізу (рис. 2) видно, що універсальність конструкції пропонованої ГПМ забезпечити з практичної точки зору нескладно – треба доповнити конструкцію причіпної ємність, що легко змінюється 10 з необхідним запасом води і піноутворювача. Це дозволяє забезпечити і традиційне пожежогасіння, застосовуючи штатне обладнання 10, змонтоване на шасі та імпульсне порошкове пожежогасіння пакетами стволів. Тактичні прийоми роботи з водою та піноутворювачем такі ж, як для основного пожежноавтомобіля. А при порошковому імпульсному пожежогасінні однотипність верхнього і нижнього пакетів стволів сприяє оперативній їх заміні на підготовлений запас, що возиться в кузові, заповнених вогнегасним порошком пакетів. Причому, для залпового гасіння пожежі порошком принцип метання ВП (пневмометання або метання з використання порохових зарядів) залежить лише від бажаного конструктивного виконання ГПМ. Таким чином, досягається мета – створення передумов до поповнення парку пожежних машин універсальною гусеничною пожежною машиною із підвищеними тактико-технічними характеристиками.

Також зазначимо, що у базовому (в 1,5 рази легшому, ніж танк) шасі малого тягача легкого бронювання (МТЛБ) є просторий десантний відсік, де можна перевозити необхідне обладнання та особовий склад для ведення аварійно-рятувальних робіт.

6. Результати дослідження тактико-технічного забезпечення модуля імпульсного пожежогасіння гусеничної пожежної машини

У роботах [9, 10], в імітаційних експериментах, які можна вважати першим наближенням удосліджені тактико-технічного забезпечення до базового модуля імпульсного пожежогасіння, за допомогою 2-х стволів установки гасіння короткочасними та багаторазовими сприсками ВР, замість частинок порошку імпульсно подавалися на ціль (модельне вогнище пожежі) підфарбовані різним кольором два різні компоненти, таким чином, імітувалася атака на пожежу.

Грунтуючись на їх результатах, і виходячи із аналізу, при дослідженні тактико-технічного забезпечення стосовно базового модуля імпульсного пожежогасіння універсальної гусеничної машини розрізнятимемо два варіанти реалізації метання вогнегасної речовини на вогнище. З точки зору теорії прийняття рішень при гасінні будь-яких об'єктів, що горять, маємо дві альтернативи: гасіння виконувати «прямим наведенням» або «навісними потоками» (рис. 3), незалежно від того, яка вогнегасна речовина використовується.

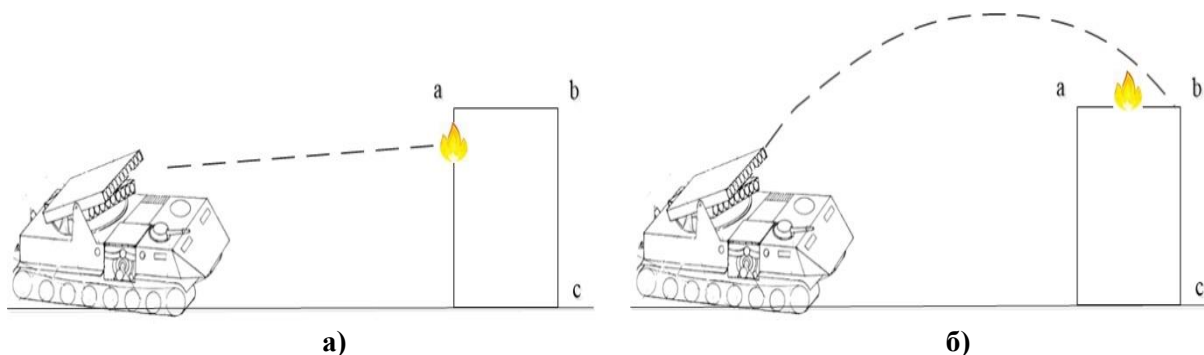


Рис. 3. Ілюстрації до тактичних завдань прийняття рішень щодо застосування універсальної гусеничної пожежної машини: а – подача ВР «прямим наведенням»; б – подача ВР навісним потоком

На рис. 4 у вигляді узагальнення представлені результати імітаційних експериментів для двох варіантів попадання в ціль у завданнях атаки на пожежу при гасінні прямим наведенням (рис. 4а) та при гасінні навісними потоками ВР на площу пожежі (рис. 4б).

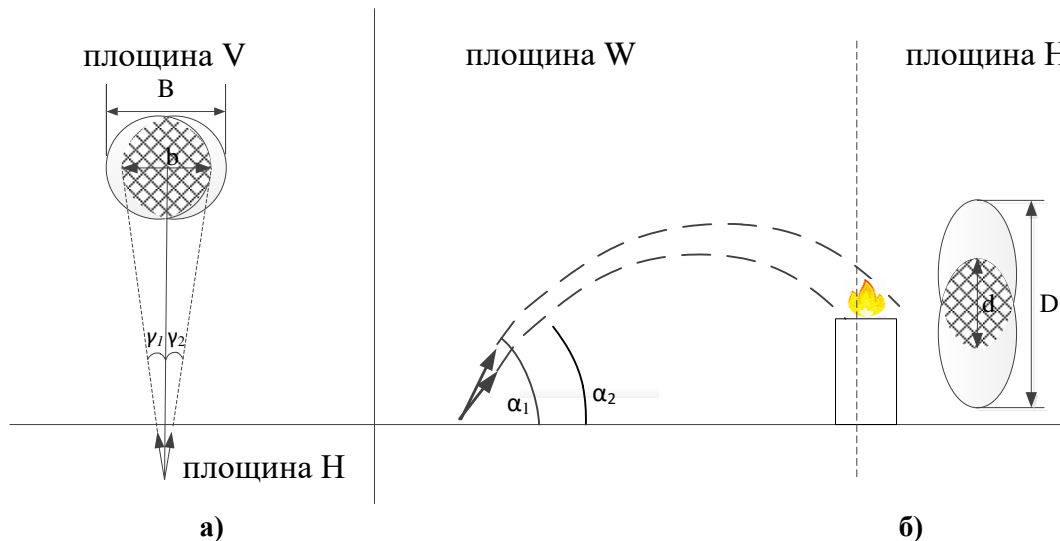


Рис. 4. Приклади двох тактичних прийомів ураження вогнища пожежі в імітаційних експериментах: а – ціль розташована в пл. V фронтально, стволи з розведеними по азимуту ($\pm \gamma$) на горизонтальній пл. H, кути їх по піднесенню пл. W практично рівні $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$; б – ціль розташована на пл. H; стволи у профільній пл. W та з кутами $\gamma = 0$, але з різними по піднесенню $\alpha_2 \leq \alpha_1$

Тут, як показали імітаційні експерименти в одному випадку (рис. 4а), кути піднесення стволів для обох умовних пакетів були близькі до нуля $\alpha_1 = \alpha_2$. Значення кутів їхнього розведення по азимуту встановлювалися симетрично $\gamma_1 = -\gamma_2$. Останні змінювалися залежно від габаритів пожежі: B – ширина всієї зони, що горить, b – ширина осередку вогнища в середині загального обсягу пожежі, де імовірно відбувається найбільш активне горіння. При цьому на рис. 4,а показаний той раціональний випадок, коли і вогнище «накрито» з подвоєною концентрацією ВР (на рис. 4 заштриховано), і на весь обсяг пожежі потрапляє ВР, що подається. Так, знаючи безперервно мінливу обстановку на пожежі (B і b) завдання тактики гасіння такої пожежі полягає в тому, що керівнику гасіння пожежі (КГП) необхідно приймати оперативні рішення, щодо скорочення (віддалення) дистанції до вогнища, розведення (зведення) стволів по азимуту. Для чого потрібне тактичне забезпечення, реалізація якого в сучасних умовах бажано здійснювати за допомогою бортового комп'ютера.

Аналогічно й у другому випадку (рис. 4б). Тут, універсальна гусенична пожежна машина повинна використовуватися трохи інакше. По азимуту кути наведення стволів на ціль повинні збігатися і дорівнювати нулю ($\gamma_1 = \gamma_2 = 0$), а значення кутів наведення стволів по піднесенню різні чи (у крайньому разі рівні) і визначаються з урахуванням іншого габаритного параметра пожежі d – глибини площі активної зони горіння на поверхні пожежі.

Природно, що з оперативної обстановки (значення параметрів B, D, b, d) можливий змішаний варіант. Так чи інакше, основною ланкою розробки основ тактичного забезпечення роботи універсальної ГПМ при порошковому пожежогасінні буде аналітична побудова сімейства траєкторій псевдоосі,

випущеної на вогнище зі стволів під тим чи іншим кутом піднесення α .

Для цього треба мати сімейство параметричних кривих, подібних до кривої рис. 1 і, як це було запропоновано в роботах [11, 12], в рамках імітаційного моделювання за параметром α .

Наведемо алгоритм побудови параметричного сімейства таких траєкторій, як теоретичну складову тактико-технічного забезпечення до універсальної ГПМ.

Отже, маємо по кадрах проаналізовані відеозаписи результатів проведених серій випробувань пострілів двох окремих компонентів. У наших експериментах подавання ВР щільними розпилювачами імітувало рух частинок порошку, траєкторії потоку яких, також можна поділити на три частини, як і на рис. 1, що відображають ті самі етапи: етап I – викид потоків ВР в атмосферу (майже пряма з нахилом α); етап II – їх вільний рух в повітрі (відповідає кривої, близької до параболи); етап III – потрапляння на об'єкт пожежогасіння. Кожну траєкторію струменя ВР представляємо за допомогою добре зарекомендованого методу інтерполяційних поліномів Лагранжа. Вважалося, що розшукувана траєкторія, задана параметрично і відповідає залежності координат X і Z від часу t третього ступеня. Тоді «псевдовісева» лінія траєкторії потоку ВР, що проходить через «реперні» точки записуються у вигляді формули:

$$\begin{aligned} X(t) &= A_1(\alpha)t^3 + B_1(\alpha)t^2 + C_1(\alpha)t, \\ Z(t) &= A_2(\alpha)t^3 + B_2(\alpha)t^2 + C_2(\alpha)t, \end{aligned} \quad (1)$$

де α – кут нахилу до горизонту ствола; t – поточний час.

Виключаючи в (1) параметр «час», отримується шукана кубічна парабола:

$$Z(X) = A_2(\alpha)X^3 + B_2(\alpha)X^2 + C_2(\alpha)X. \quad (2)$$

Коефіцієнти для n -го експерименту визначаються наступним чином. Розглянемо функцію:

$$F_n(A_{2n}, B_{2n}, C_{2n}) = \sum (Y_i - Y(X_i))^2. \quad (3)$$

Мінімум цієї функції F_n визначався з системи лінійних рівнянь щодо коефіцієнтів A_{2n} , B_{2n} , C_{2n} , і мав вигляд:

$$\frac{\partial F_n}{\partial A_n} = 0; \quad \frac{\partial F_n}{\partial B_n} = 0; \quad \frac{\partial F_n}{\partial C_n} = 0. \quad (4)$$

Маючи значення коефіцієнтів по кожному досліді, записуються інтерполяційні поліноми Лагранжа. В якості змінної, по якій проводилася апроксимація, вибирався кут піднесення ствола-розпилювача до горизонту α .

Позначаючи поліноми Лагранжа:

$$L_1(\alpha), L_2(\alpha), L_3(\alpha), \quad (5)$$

маємо, що вони збігаються з коефіцієнтами A_{2n} , B_{2n} , C_{2n} для кожного n -го досліді.

Після визначення шуканих коефіцієнтів (при довільному значенні (α) завдання опису траєкторій руху ВР можна враховувати вирішеним.

У кожній з розглянутих задач, які відносяться до теорії прийняття рішень, керівник гасіння пожежі (КГП) має набір альтернатив пожежогасіння, що залежать від конкретних дій з універсальною ГПМ. Сказане, в термінах теорії прийняття рішень, формулюється наступним чином.

Ухвалення рішення КГП – це процес вибору однієї з можливостей (альтернатив – $A_i, i = 1, 2, 3, \dots$) наявних рекомендацій користувачеві технічних засобів, після реалізації яких, досягається конкретний результат (вихід – $I_j, j = 1, 2, 3, \dots$). Який з результатів I_j настане при виборі конкретної альтернативи A_i , можна визначити в результаті розв’язування конкретної задачі аналізу. Тобто функція реалізації встановлює відповідність між реалізованою можливістю (згідно з прийнятою альтернативою) і одержаним в результаті прийняття рішень наслідком (згідно з результатами розв’язування задачі аналізу).

Описом реалізації, може служити упорядкований набір – список всіх розв’язків, знайдених на етапі аналізу у вигляді таблиць, графіків, аналітичних залежностей, отриманих теоретично або експериментально. Його представляють у вигляді граф-схеми, якісно реалізованої функції цілі, відносно подачі ВР навісними або прямоточними потоками згідно кривих, які побудовані за методом Лагранжа (рис. 5а).

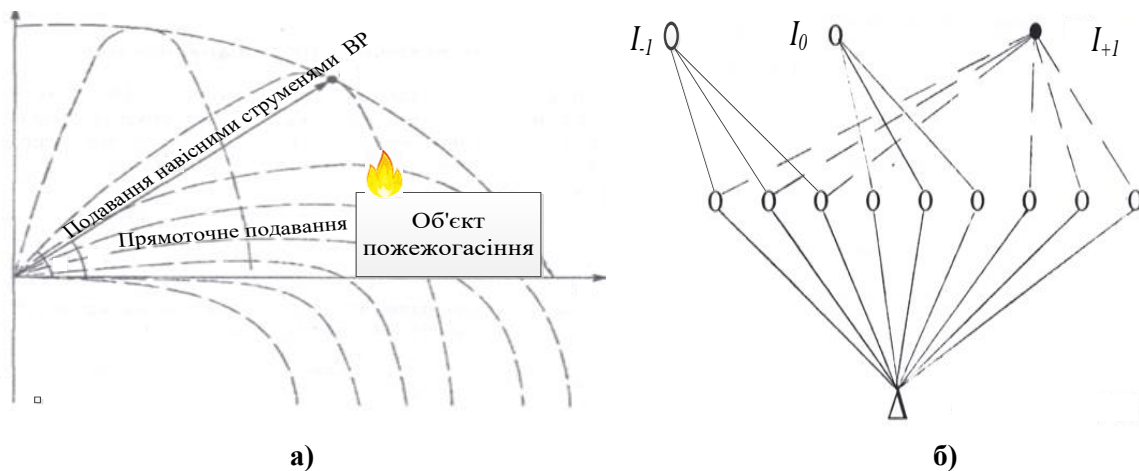


Рис. 5. Граф-схема прийняття рішення, щодо варіанту подачі ВР: а – експериментальні криві, що побудовано на підставі імітаційного моделювання; б – граф-схема завдань прийняття рішень з пожежогасіння: «+1» – мета досягнута (пожежу ліквідовано); «0» – мета частково досягнута (локалізація); «-1» – мета не досягнута (локалізація не досягнута); $j=1, 2, 3, \dots$ – повний перелік альтернатив, з яких вибирає КГП

Якісний аналіз функціонального зв’язку між альтернативами і наслідками визначають такі узагальнені показники:

“ I_{+1} ” – бінарний потік ВР “накрив” епіцентр пожежі;

“ I_0 ” – потік опинився у периметрі, не потрапив в епіцентр;

“ I_{-1} ” – потік ВР взагалі не потрапив у пожежу.

Разом з цим, як впливає з аналізу, приведені вирази дозволяють отримати повний список співвідношень, координат альтернативних траєкторій потоків в просторі, в залежності від поточного часу і характерних властивостей тактичних завдань, наприклад параметра α – кута нахилу стволів над горизонтом.

Математично, тактичні завдання узагальнено записуються:

$$\max K(\alpha, \gamma, p, S, B, b, \dots), \quad (6)$$

де K – якісна цільова функція, що набуває значення; $K=1$ мета досягнута; $K=0$ мета не досягнута.

До некерованих параметрів завдання належить: конкретна ситуація B , b – один з варіантів (рис. 4); метеоумови та інші дані, які умовно позначені трьома крапками. Керованими змінними є: α , γ – кути з піднесення стволів і кути по азимуту; S – безпечна відстань, на яку може наблизитись універсальна ГПМ до вогнища пожежі; p – робочий перепад тиску при пневмометанні ВР. На них накладаються обмеження виду:

$$0 < \alpha < 90^\circ; S_{\min} \leq S \leq S_{\max}, \quad (7)$$

де S_{\min} , S_{\max} граничні відстані розміщення універсальної ГПМ від вогнища пожежі.

Список альтернативних траєкторій, подавання на рис. 5а дає можливість КПП з цього сімейства кривих вибрати ту чи іншу за параметром α , щоб якісна функція реалізації K досягла максимуму, що відповідає кращому результату, в даному випадку при імпульсному пожежогасінні.

Далі наводяться деякі практичні міркування та вибіркові дані, перевірені в ході імітаційних експериментів, що наочно ілюструють тактико-технічного забезпечення до гасіння прямим наведенням.

Нехай, як це було в наших імітаційних експериментах, водні дані про умовну пожежу визначені: B – повна ширина палаючої зони на пожежі; b – ширина активного горіння (вогнище пожежі). Конус подачі ВР, з урахуванням лінійності траєкторії з їх параметричного сімейства (5) зі стабільним кутом β при вершині, точка розташування якої відповідає раціональній дистанції S до вогнища пожежі.

Щоб забезпечити оптимальність дій екіпажу пожежних необхідно мати можливість оперативно визначати, під час атаки на пожежу, раціональні дистанції до вогнища, а також кути розведення пакетів стволів γ , як показано на рис. 4а. Як зазначалося, (рис. 4а) саме той раціональний прийом, коли забезпечується «накриття» осередку пожежі з подвоєю концентрацією ВР, та всього обсягу пожежі в цілому. Тоді, з нескладних геометричних міркувань з огляду на те, що на рис. 6 всі кути центральні, маємо спрощено такі два співвідношення:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} &= \frac{S^{-1} \left(\frac{B}{2} \right)}{2}, \\ S\gamma &= \frac{b}{2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Вирішуючи їх спільно, як тригонометричну систему 2-х рівнянь щодо 2-х невідомих S і γ , визначимо шукане.

У задачі про гасіння навісними потоками ВР, перейдемо до подібних, але складніших тригонометричних систем. Безумовно, що вирішення таких завдань

прийняття рішень доцільно виконувати з використанням бортового комп'ютера, яким передбачається обладнати універсальну ГПМ на готовому дослідному зразку.

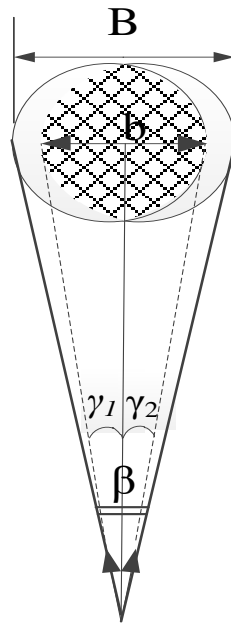


Рис. 6. Приклад синергетичного подавання ВР прямим наведенням на гасіння пожежі по фронту

Таким чином, проведено дослідження тактико-технічного забезпечення до базового модуля імпульсного пожежогасіння універсальної ГПМ.

7. Обговорення результатів обґрунтування тактико-технічних переваг універсальної гусеничної пожежної машини

Позитивний ефект отриманих результатів складається у створенні безпечних умов для більш ефективного гасіння пожеж та проведення аварійно-рятувальних робіт з використанням універсальної гусеничної пожежної машини в екстремальних умовах під час воєнних дій, і не тільки.

Особливостями запропонованого методу і отриманих результатів в порівнянні з існуючими є такі нові складові: по-перше, передбачається проведення першої атаки на масштабну пожежу імпульсним подаванням ВР одразу на весь осередок пожежі, при чому – з подвійною її концентрацією в зону найбільш активного горіння (епіцентр), а потім комбіновано використовувати запропоновану універсальну гусеничну пожежну машину, як основний пожежний автомобіль, чи за інших пожеже-рятувальних потреб.

Обмеження притаманні цим дослідженням в основному організаційні. При наявності ескізного проекту на цю універсальну ГПМ, та накопичену ремонтну базу з числа покинутих відступаючими військами, їх же машин цього класу, доцільно було б виготовити дослідний зразок запропонованої нами ГПМ та деталізувати деяке моменти, що до тактики використання універсальної гусеничної пожежної машини.

Серед недоліків даного дослідження можна відзначити лише один – відсутність дослідного зразка запропонованої принципово нової гусеничної пожежної машини та можливості на ньому відпрацювати недоліки, як це передбачено при створенні нової техніки.

Розвиток даного дослідження може бути реалізований завдяки модульному принципу комплектування універсальної гусеничної пожежної машини, яку можливо виготовляти на шасі багатоцільового гусеничного транспортера-тягача МТ-ЛБ та подібному йому МТ-ЛБВ. Цей принцип дозволяє модифікування подібні конструкції зі спеціальним призначенням: з пінопідіймачем для гасіння пожеж на підприємствах зберігання нафти і нафтопродуктів та на підприємствах нафто- та газопереробної промисловості; у мирний час та під час війни на вибухопожежонебезпечних промислових та складських об'єктах та ін. Універсальність баштових погонів МТ-ЛБ та МТ-ЛБВ допускають формувати на них широкий спектр можливих модульних модифікацій. Крім пожежно-технічного обладнання основної пожежної машини із системою водопінного гасіння пропонується розміщувати не тільки металеву установку імпульсного порошкового пожежогасіння з віяловим розташуванням 2-х пакетів стволів, а також: модулі гасіння пожеж на ланах злакових культур та в лісовій зоні (відбивний екран); ракетно-тросову установку РТУ-01 для забезпечення ведення аварійно-рятувальних робіт на висотах в висотних будівлях та спорудах підвищеної етажності. За рахунок наявності на машині опалювальної та фільтровентиляційної установок для екіпажу забезпечуються комфортні та безпечні умови роботи в машині в будь-яких природно-кліматичних умовах. Наявний у кормовій частині машини пристрій для самоокопуння дозволяє руйнувати та створювати обвалування, прокладати мінералогічні смуги, обкопувати вогнище пожежі, відривати котловани тощо.

Машина оснащена пожежно-технічним обладнанням, що дозволяє виконувати всі штатні прийоми пожежогасіння, маючи при цьому високу прохідність, маневреність та надійний захист особового складу та обладнання від небезпечних факторів пожежі (теплого, променевого, вогневого впливу, від механічного впливу осколків падаючих предметів, що розлітаються). Захищеність оперативного розрахунку пожежних та обладнання дозволяє здійснювати роботи практично у безпосередній близькості до вогнища пожежі.

Причіпна та легко змінювана ємність для води та ємності для піноутворювача виконані змінними. Їх монтаж та демонтаж при випорожненні не викликає складнощів та може виконуватися розрахунком. Над відділенням управління змонтований стаціонарний пожежний лафетний ствол, що має продуктивність по воді до 40 л/с, повітряно-механічної піні до 24 м³/хв. Лафетний ствол повертається по азимуту в горизонтальній площині $\pm 130^\circ$, за піднесення до 75° вище і 8° нижче лінії горизонту. Машина оснащена комплектом пожежно-технічного обладнання, яке дозволяє розрахунку здійснювати гасіння пожежі як самостійно, так і при взаємодії з іншими пожежними підрозділами.

Тактико-технічного забезпечення використання універсальної ГПМ складається з двох однаково важливих частин. Одна з них відома та торкається її роботи, як основної пожежної машини, де збігаються елементи локалізації та припинення горіння на звичайних пожежах. Друга частина – це тактичне забезпечення нової ГПМ на крупних пожежах, яке притаманне теперішнім воєнним подіям в Україні. Тут важливою складовою є перша атака на пожежу, що спроможна локалізувати велику пожежу та створити умови для подальших дій пожежних рятувальників. Розглянуті в дослідженні варіанти тактико-технічного забезпечення використання універсальної ГПМ при таких пожежах відображає використання ба-

зового модуля імпульсного порошкового пожежогасіння машини, коли у першій атаці на пожежу ВР “накриває” увесь об’єкт пожежогасіння, в тому числі й епіцентр пожежі, з подвійною концентрацією вогнегасного порошку. Додамо, що у таких реальних ситуаціях передбачається використання комп’ютерної балістики. Тут шляхом комп’ютерних розрахунків можна оперативно встановити не тільки траєкторію руху потоків ВР (гасіння прямою наводкою чи навісним потоком), але й найбільш корисну дистанцію до осередку пожежі.

Важливим обмеження є те, що застосовувати порохові заряди і вистрілювати ними порошок на об’єкти, що палають – означає наражати особовий склад додаткової небезпеки. Напрямом подальшого тактико-технічної удосконаленості універсальної ГПМ є використання стислого повітря для імпульсного метання ВР на пожежу. Це технічне рішення доцільніше тому, що дистанція від установки до осередку пожежі повинна бути скорочена. У зв’язку з цим питома щільність ВР, що спрямовується на вогонь, зростає. Крім цього, концентрація зростає ще і тому, що віялове розташування стволів верхнього і нижнього пакетів дозволяє цю концентрацію збільшити за рахунок перетинання секторів подачі ВР. При цьому, підвищуються точність прицільної подачі ВР в осередок пожежі і ефективність пожежогасіння.

Безумовно, на ефективність використання установки пожежогасіння впливає запас компонент складових ВР. У зв’язку з цим, шасі основного модуля ГПМ можна зчленувати з іншим аналогічним модулем так, що на його бортові передачі буде передаватися момент від коробки відбору потужності головного модуля. Тобто, можна створювати двохланкову ГПМ не тільки із додатковими ємностями, що містять запас компонент складових ВР.

8. Висновки

1. Запропоновано ескізний проект універсальної гусеничної пожежної машини на шасі малого тягача легкого бронювання. Розроблено принцип роботи універсальної гусеничної пожежної машини, яка в порівнянні з основним пожежним автомобілем, додатково може гасити пожежі імпульсно за допомогою вогнегасних порошоків, а також вести пожежно-рятувальні роботи. Конструкція запропонованої гусеничної пожежної машини забезпечує: безпечне для особового складу наближення до об’єктів пожежогасіння майже впритул та надання допомоги людям, які постраждали в результаті бойових дій противника. На відміну від основного пожежного автомобіля, запропонована гусенична пожежна машина має значний запас прохідності у ландшафті зруйнованих будівель і споруд, в умовах бездоріжжя, а також фільтровентиляційні установки, що дозволяє вести роботи в зоні небезпечного зараження. Універсальність конструкцій машини досягається наявністю, крім пожежно-технічного обладнання основної пожежної машини із системою водяного та пінного гасіння, додатковим включенням установки принципово нового імпульсного порошкового пожежогасіння з віяловим розташуванням 2-х пакетів стволів, що дозволяє одночасно охопити фронт пожежі кутовим розташуванням стволів приблизно від 0° до 90° використання якого відбувається з досягненням синергетичного ефекту.

2. Досліджено тактико-технічного забезпечення до базового модуля імпульсного пожежогасіння універсальної гусеничної пожежної машини. Представлені результати імітаційних експериментів для двох варіантів попадання в ціль з висо-

кою вірогідністю 95,5 % у завданнях атаки на пожежу при гасінні прямим наведенням (з дистанції до 10 м); та при гасінні навісними потоками вогнегасної речовини на площу пожежі (вірогідність 75 % з дистанції до 25 м). Розроблено алгоритм побудови параметричного сімейства траєкторій, як теоретичну складову тактичного забезпечення до універсальної гусеничної пожежної машини. Реалізацію тактичного забезпечення необхідно здійснювати з використанням смартфонів або планшетів з засобами програмування.

Література

1. Whitehead A., Williams R., Sigman E. Decision theory and linear sequential unmasking in forensic fire debris analysis: A proposed workflow. *Forensic Chemistry*. 2022. Vol. 29. P. 356–468. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forc.2022.100426>
2. Norman J. *Fire Officers Handbook of Tactics 5th Edition*: South Sheridan Road Tulsa. Oklahoma. 2019. P. 642. URL: <https://fireengineeringbooks.com/fire-officers-handbook-of-tactics-5th-edition/>
3. Guangdong Tian, Amir M. Fathollahi-Fard, Yaping Ren, Zhiwu Li, Xingyu Jiang. Multi-objective scheduling of priority-based rescue vehicles to extinguish forest fires using a multi-objective discrete gravitational search algorithm. *Information Sciences*. 2022. Vol. 608. P. 578–596. doi: [10.1016/j.ins.2022.06.052](https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.06.052)
4. Leistungsschau: Feuerlöschpanzer "Spot-55" URL: <https://www.ndr.de/radiomv/Leistungsschau-Feuerloeschpanzer-Spot-55,loeschpanzer100.html> (дата звернення 01.11.2022р.).
5. Maria E. Due-Hansen, Ove Dullum Review and analysis of the explosion accident in Drevja, Norway: A consequence of fire in a mobile explosives manufacturing unit (MEMU) carrying precursors for the on-site production of bulk explosives. *Safety Science*. Vol. 96. 2017. P. 33–40. doi: [10.1016/j.ssci.2017.03.003](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.03.003)
6. Харчук, А. І., Соломон І. І. Особливості діяльності підрозділів ДСНС під час війни та на деокупованих територіях (на прикладі Київської області). Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: збірник тез доповідей наук.-техніч. конф. Львів. 2022. С.545-548. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/11125/1/Tezy%20PB%20Kyryliv%20Y.B.%202022.pdf>
7. Feuerlöschpanzer Spot-55. Dienstleistungen im Brand- und Katastrophenschutzfall. 2022. P. 12. URL: <https://www.dibuka.de/>
8. Dibuka Feuerlöschpanzer in Arzberg. Feuerlöschpanzer und Bergepanzer der DiBuKa im Grunewald 2022-08. Sachsen 2022. URL: <https://www.feuerloeschpanzer.de/dibuka-im-einsatz-mit-feuerloeschpanzern-in-arzberg-sachsen-vom-28-bis-31-07-2022>. (дата звернення 01.11.2022р.).
9. Ostapov K. M., Senchihin Yu. N., Syrovoy V. V. Development of the installation for the binary feed of gelling formulations to extinguishing facilities *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2017. № 132. P. 75–77. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3891>
10. Ostapov K. etc. Improvement of the installation with an extended barrel of cranked type used for fire extinguishing by gel-forming compositions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 4(10 (100)). P. 30–36. doi: [10.15587/1729-4061.2019.174592](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174592)
11. Ostapov, K., Senchykhin, Y., Ragimov, S., Kirichenko, I. Improving the Fire safety. DOI: [10.52363/2524-0226-2022-36-22](https://doi.org/10.52363/2524-0226-2022-36-22)

Quenching of the Undercarriage Space due to the Adhesive Properties of Gel-Forming Compositions. In Key Engineering Materials. 2022. Vol. 927. P. 53–62. doi:10.4028/p-1su80t

12. Ostapov, K., Senchykhyn Yu., Syrovoi V., Avetisian V. Improving the installation of fire gasing with geelating compounds. Збірка наукових праць «Проблеми надзвичайних ситуацій». 2021. Випуск 33. С. 4–14. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14116>

K. Ostapov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
Y. Senchykhyn, PhD, Professor, Professor of the Department
V. Avetisian, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
I. Gritsina, PhD, Associate Professor, Deputy Head of Department
Y. Haponenko, Lecturer of the Department
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

SUBSTANTIATING THE TACTICAL AND TECHNICAL ADVANTAGES OF A UNIVERSAL TRACKED FIRE TRUCK

The tactical and technical advantages of tracked fire engines and the task of making rational decisions during firefighting and emergency rescue operations in extreme conditions of military operations are considered. Based on concrete examples of the creation of a fire tank and experimental units "Impulse", the main shortcomings that prevent their use within the city are formulated. The scheme of a universal tracked fire engine on the chassis of a multi-purpose light armored tractor is presented with an innovative division of the package of barrels of the "Grad" artillery system into two packages, which have the ability to independently change the angles of their guidance on the target from the elevation relative to the horizon and along the azimuth. The promising machine is capable of extinguishing ordinary, complex and large fires with water, foam and powder, as well as conducting emergency rescue work in buildings and structures in the war-torn territories of cities and industrial centers. This created the prerequisites for replenishing the fleet of fire engines with new tracked fire engines with improved tactical and technical characteristics. From the point of view of the theory of decision-making, an analysis was carried out and the methods of work of the personnel of fire-rescuers with a universal tracked fire engine in the modes of its engagement, as the main fire engine and as an impulse powder fire extinguishing installation, were clarified.

Keywords: tracked fire engine, powder fire extinguishing, fire extinguishing agent, decision making, tactics

References

1. Whiteheada, A., Williams, R., Sigman, E. (2022). Decision theory and linear sequential unmasking in forensic fire debris analysis: A proposed workflow. *Forensic Chemistry*, 29. doi: 10.1016/j.forc.2022.100426
2. Norman, J. (2012) *Fire Officers Handbook of Tactics*. South Sheridan Road Tulsa, Oklahoma, 311. URL: <https://fireengineeringbooks.com/fire-officers-handbook-of-tactics-5th-edition/>
3. Guangdong, Tian, Amir, M. Fathollahi-Fard, Yaping, Ren, Zhiwu, Li, Xingyu, Jiang (2022). Multi-objective scheduling of priority-based rescue vehicles to extinguish forest fires using a multi-objective discrete gravitational search algorithm. *Information Sciences*, 608, 578–596. doi: 10.1016/j.ins.2022.06.052
4. Leistungsschau: Feuerlöschpanzer "Spot-55". URL: https://www.ndr.de/radiomv/Leistungsschau-Feuerloeschpanzer-Spot-55_loeschpanzer100.html (дата звернення 01.11.2022р.)
5. Maria, E., Due-Hansen, Ove, Dullum. (2017). Review and analysis of the explosion accident in Drevja, Norway: A consequence of fire in a mobile explosives

manufacturing unit (MEMU) carrying precursors for the on-site production of bulk explosives. *Safety Science*, 96, 33–40. doi: 10.1016/j.ssci.2017.03.003

6. Kharchuk, A. I., Solomon, I. I. (2022). Osoblyvosti diialnosti pidrozdiliv DSNS pid chas viiny ta na deokupovanykh terytoriiakh (na prykladi Kyivskoi oblasti). Aktualni problemy pozhezhnoi bezpeky ta zapobihannia nadzvychainym sytuatsiiam v umovakh sohodennia: zbirnyk tez dopovidei nauk.-tekhnich. Konf., 545–548. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/11125/1/Tezy%20PB%20Kyryliv%20Y.B.%202022.pdf>

7. Feuerlöschpanzer Spot-55. (2022). Dienstleistungen im Brand-und Katastrophenschutzfall, 12. URL: <https://www.dibuka.de/>

8. Dibuka Feuerlöschpanzer in Arzberg. (2022). Feuerlöschpanzer und Bergepanzer der DiBuKa im Grunewald 2022-08. Sachsen 2022. URL: <https://www.feuerloeschpanzer.de/dibuka-im-einsatz-mit-feuerloeschpanzern-in-arzberg-sachsen-vom-28-bis-31-07-2022>. (дата звернення 01.11.2022р.).

9. Ostapov, K. M., Senchihin, Yu. N., Syrovoy, V. V. (2017). Development of the installatio for the binary feed fgelling for mulations to extinguis hing facilities. *Scienceand Education a New Dimension. Naturaland Technical Sciences*, 132, 75–77. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3891>

10. Ostapov, K. etc. (2019). Improvement of the installation withan extended barrel of cranked type used for fire extinguishing by gel-forming compositions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(10 (100)), 30–36. doi: 10.15587/1729-4061.2019.174592

11. Ostapov, K., Senchykhin, Y., Ragimov, S., Kirichenko, I. (2022). Improving the Quenching of the Undercarriage Space due to the Adhesive Properties of Gel-Forming Compositions. In *Key Engineering Materials*, 927, 53–62. doi:10.4028/p-1su80t

12. Ostapov, K., Senchykhyn, Yu., Syrovoy, V., Avetisian, V. (2021). Improving the installation of fire gasing with gelelating compounds. *Zbirka naukovykh prats «Problemy nadzvychainykh sytuatsii»*, 33, 4–14. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14116>

Надійшла до редколегії: 18.10.2022

Прийнята до друку: 14.11.2022