



DOI <https://doi.org/10.32447/20786662.48.2026.04>

**М. В. Іщук**

*Національний університет цивільного захисту України,  
м. Черкаси, Україна*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0170-1201> – М. В. Іщук

✉ [m.ishchuk@dsns.gov.ua](mailto:m.ishchuk@dsns.gov.ua)

## АНАЛІЗ ТАКТИЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ НАЗЕМНОГО РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ТА ФОРМУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЙОГО УДОСКОНАЛЕННЯ

**Постановка проблеми.** Наземні роботизовані комплекси (НРК) достатньо широко застосовуються під час пожежогасіння. Особливо активно вони почали впроваджуватися в діяльність підрозділів ДСНС після початку війни. Важливо, що оператор НРК може віддалено керувати ним перебуваючи у безпечному місці, а це безумовно дозволяє забезпечити особовий склад. Враховуючи те, що цей напрям є достатньо новим, тому чітких вимог до конструкції НРК, які можуть бути використані для пожежогасіння поки немає.

Відповідно розробка науково обґрунтованих технічних вимог до конструкції НРК для пожежогасіння з урахуванням вже існуючого досвіду підрозділів ДСНС має надзвичайно важливе значення.

**Мета роботи** полягає в аналізі тактичних можливостей НРК побудованого на гусеничному шасі за результатами натурних випробувань в умовах наближених до реальних та формування на підставі цього рекомендацій щодо удосконалення його конструкції.

Наукова новизна роботи полягає у науковому обґрунтуванні конструктивних рішень для удосконалення конструкції НРК для пожежогасіння на основі результатів натурних випробувань в умовах полігону.

**Висновки.** Випробування проводилися з використанням НРК для пожежогасіння Thermite RS3, який сконструйований на гусеничному шасі. Випробування складалося з п'яти послідовних етапів, які дозволяли оцінити роботу та виявити конструктивні недоліки, що обмежували його застосування в конкретних умовах. Встановлено, що НРК має малий кут огляду у зв'язку з відсутністю бокових камер. Водночас неможливо ефективно проводити пожежогасіння резервуарів з легкозаймистими рідинами через відсутність у комплектації НРК, який випробовувався генератора пін середньої або високої кратності. В задимлених середовищах наявні технічні засоби спостереження не дозволяли проводити якісь роботи (видимість становила менше 1 м). При перебуванні НРК у вогневому модулі з температурою всередині до 200 °C виявлено пошкодження пластикових елементів антен передачі відеосигналу та радіокерування але проблем з передачею сигналу під час його роботи не спостерігалось. Розроблено рекомендації для удосконалення його конструкції з урахуванням результатів випробувань. Запропоновано встановити на водопіпні комунікації НРК зливних кранів для зливу залишків вогнегасних речовин після його роботи та обладнати патрубки водопіпних комунікацій з'єднувальними головками типу STORZ.

**Ключові слова:** пожежа, наземний роботизований комплекс, пожежогасіння, вогневий модуль, випробування.

## ANALYSIS OF TACTICAL CAPABILITIES OF A GROUND ROBOTIC FIRE-FIGHTING COMPLEX AND FORMULATION OF RECOMMENDATIONS FOR ITS IMPROVEMENT

**Problem Statement.** Ground-based robotic systems (GRS) are widely used in firefighting. They began to be introduced into the activities of the State Emergency Service units especially actively after the war. It is important that the GRS operator can remotely control it while being in a safe place, and this certainly allows to protect personnel. Given that this direction is quite new, there are no clear requirements for the design of GRS that can be used for firefighting yet.

Accordingly, the development of scientifically based technical requirements for the design of GRS for firefighting, taking into account the existing experience of the State Emergency Service units, is of utmost importance.

**Objective.** The purpose of the work is to analyze the tactical capabilities of the GRS built on a tracked chassis based on the results of field tests in conditions close to real ones and to formulate recommendations on improving its design based on this.

The scientific novelty of the work lies in the scientific substantiation of constructive solutions for improving the design of the GRS for fire extinguishing based on the results of field tests in landfill conditions.

**Conclusions.** The tests were conducted using the Thermite RS3 firefighting vehicle, which is designed on a tracked chassis. The test consisted of five consecutive stages that allowed to evaluate the work and identify design flaws that limited its use in specific conditions. It was established that the GRS has a small viewing angle due to the lack of side cameras. At the same time, it is impossible to effectively extinguish fires in tanks with flammable liquids due to the lack of a medium or high-multiplicity foam generator in the GRS configuration. In smoky environments, the available technical means of observation did not allow any work to be carried out (visibility was less than 1 m). When the GRS was in a fire module with an internal temperature of up to 200 °C, damage was found to the plastic elements of the video signal transmission and radio control antennas, but no problems with signal transmission were observed during its operation. Recommendations were developed to improve its design taking into account the test results. It is proposed to install GRS drain valves on water-foam communications to drain the remains of fire extinguishing agents after its operation and to equip the water-foam communications with STORZ type connecting heads.

**Key words:** fire, ground robotic complex, fire extinguishing, fire module, testing.

**Постановка проблеми.** В умовах воєнного стану процес гасіння пожеж ще більше ускладнився, що пов'язано з обстрілами ворожими військами територій і об'єктів нашої країни. Через це на місцях пожеж можуть перебувати вибухонебезпечні предмети і водночас існує небезпека повторних обстрілів, що створює додаткову загрозу для особового складу пожежно-рятувальних підрозділів, які залучені до пожежогасіння. Через це в оперативній діяльності підрозділів ДСНС активно відбувається впровадження наземних роботизованих комплексів (НРК). Вони дозволяють вирішувати різні завдання. Серед них, наприклад, розвідка пожежі, подання вогнегасних речовин до осередку пожежі, розчищення завалів, доставка різноманітного обладнання. За останній час з'явилося багато різних моделей НРК. Кожен НРК має свої технічні характеристики, через які може обмежуватися його застосування в певних конкретних умовах. Водночас важливо, що оператор НРК може віддалено керувати ним перебуваючи у безпечному місці, а це безумовно дозволяє убезпечити особовий склад.

Відповідно розробка науково обґрунтованих технічних вимог до конструкції НРК для пожежогасіння з урахуванням вже існуючого досвіду підрозділів ДСНС має надзвичайно важливе значення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Існує достатньо багато різних моделей НРК для пожежогасіння. Всі вони побудовані на різному шасі, частіше всього на гусеничному. Водночас рідко трапляються моделі, які мають колісне або крокуюче шасі.

В роботі [1] наведені результати випробування НРК для пожежогасіння в конструкції, якого було використано шасі на крокуючому ході. Для виявлення пожежі в його передній частині встановлена тепловізійна камера, а для її гасіння позаду розміщено порошковий вогнегасник. Керування НРК здійснюється дистанційно. Завдяки такому шасі він може пересуватися по сходах, долати невеликі рови, переступати через каміння або повалені дерева. Поряд з цим, швидкість пересування є невеликою, а конструкція шасі є достатньо складною. Через свої, у порівнянні з іншими моделями НРК, малі розміри він здатен

доставляти невеликий запас вогнегасних речовин. Це обмежує його застосування переважно для виявлення пожеж та гасіння невеликих локальних вогнищ.

В роботі [2] проаналізовані методи стабільного керування рухами всіх частин конструкції НРК, які мають шасі на крокуючому ході з гідравлічним приводом. Кожен з цих методів має свої переваги і недоліки та може бути використаний для тієї або іншої моделі НРК, які розробляються під конкретні задачі. Встановлено, що інтелектуальні методи керування мають кращу адаптивність, тому їх рекомендовано застосовувати в тих розробках, які повинні виконувати своє переміщення по нерівній поверхні.

В роботі [3] розглядаються шляхи вирішення однієї з проблем, яка пов'язана з моделями НРК, які мають шасі на крокуючому ході з гідравлічним приводом, що полягає у надмірному натиску кожної стопи на поверхню землі, а це негативно впливає в цілому на стабільність руху. Пропонується введення перехідної ланки в колінному суглобі, що дозволить перетворюючи традиційну трисегментну топологію ноги з трьома ступенями вільності на чотири сегментну структуру з трьома ступенями вільності. Крім того, для обмеження руху ланок у колінному суглобі включено повністю симетричний чотирипоршневий пневматичний опорний механізм, що характеризується регульованою високою жорсткістю та мінімальною деформацією. Одночасно, шляхом оптимізації довжин ланок та положення точок шарніра, фіксований напрямок деформації пружного елемента досягається майже по всьому робочому простору положень кінцівок ніг, тоді як рушійні сили суглобів під час динамічного руху ще більше зменшуються.

В роботі [4] розглядаються шляхи подолання проблеми, яка пов'язана з небезпеками ковзання, заносу та перекидання колісних НРК. Для цього були використані методи геометричного моделювання та карти рельєфу, які дозволили спрогнозувати названі небезпечні ситуації. Форма контактних плям коліс НРК на поверхні землі має вигляд кіл. У випадку зменшення площі контактних плям коліс на нерівних поверхнях землі можна прогнозувати небезпеку настання вказаних раніше граничних моментів.

В роботі [5] розглядається технічне оснащення для НРК, яке дозволяє більш ефективно виявляти осередок пожежі. Проблема полягає у тому, що деякі моделі НРК мають лише телекамери, за допомогою яких не завжди можна швидко виявити осередок пожежі. В цій роботі НРК на колісному шасі було обладнано датчиками виявлення диму, полум'я та вимірювання температури. Модельні

осередки пожежі розміщувалися на п'ятьох різних відстанях. Встановлено, що запропоноване оснащення дозволяє виявляти осередки пожежі навіть за максимальної віддаленості НРК від них. Точність виявлення осередків пожежі складала 92 %.

В роботі [6] розглядається конструкція НРК з колісною формулою 6×6, який може бути використаний для пожежогасіння та виконання замірів значень гамма-випромінювання. Приведення його в рух здійснюється за рахунок встановлення шести двигунів з редуктором. З допомогою встановленої електронної системи це дозволяє незалежно регулювати значення крутного моменту на кожному колесі. Поряд з цим в роботі розглядається кінематична схема такого НРК, схема динаміки руху, моделюється його здатність долати схили та перешкоди ступінчастого типу. Виявлено, що зі збільшенням висоти центру мас покращувалися характеристики під час підйому при подоланні перешкод ступінчастого типу, але це водночас спричиняло втрату стійкості, якщо переміщення відбувалося по схилу, а також погіршувало процес гальмування під час спуску зі схилу. В роботі вказано, що в певних умовах можливо покращити деякі характеристики НРК у випадку його побудови на гусеничному шасі.

В роботі [7] розглянуто конструкцію, технічні характеристики та проведено моделювання процесу гасіння пожежі НРК на колісному шасі, який обладнаний туреллю, яка має два степені свободи і дозволяє метати контейнери у вигляді куль, що заповнені вогнегасною речовиною до осередку пожежі. Колеса НРК спеціально розробленої конструкції, яка дозволяє йому швидко переміщуватися і долати перешкоди ступінчастого типу. Привід до них реалізований з допомогою двох гідродвигунів та ланцюгово-редукторного механізму. Один двигун приводить у рух праві колеса, а інший – ліві. Метання контейнерів з допомогою встановленої на НРК турелі можливо на відстань до 80 м по горизонталі і до 30 м по вертикалі, що в деяких випадках далі ніж при подаванні суцільних водяних струменів до осередку пожежі при використанні лафетних стволів, які встановлені на деяких моделях відомих НРК.

В роботі [8] наведено обґрунтування конструкції НРК для пожежогасіння побудованого на шарнірно-зчленованому гусеничному шасі та досліджено його характеристики. Побудовано математичну модель, яка описує його рух, а також проведено кінематичний аналіз і досліджено стійкість НРК при подоланні перешкод. Завдяки використанню такого шасі, НРК здатен пересуватися по м'яких ґрунтах і навіть долати перешкоди ступінчастого типу. Наявність керованого лафетного

ствола дозволяє оператору віддалено керувати процесом гасіння пожежі.

В роботі [9] розглянуто конструкцію НРК на гусеничному шасі, який був спеціально розроблений для виявлення пожеж і їх гасіння в будівлях різного призначення. У зв'язку з тим, що в будівлі може відбуватися горіння різних речовин, для більш ефективного процесу гасіння НРК обладнаний чотирма різними вогнегасниками. Водночас таке технічне рішення і обмежує його застосування, тому через такий незначний сумарний запас вогнегасних речовин він може бути використаний лише для гасіння невеликих за площею загорянь. Відповідно найбільш ефективним є його застосування на початкових етапах розвитку пожежі.

В роботі [10] проведено моделювання процесу переміщення НРК на гусеничному шасі, а також кінематичний аналіз при подоланні ним перешкод ступінчастого типу. Для зменшення вібрації корпусу пропонується включити до конструкції підвіски пружинні амортизатори. Залежно від габаритів та маси НРК розглядаються розрахункові методи для визначення найбільш доцільних характеристик гусеничного шасі та потужності двигуна. Встановлено, що на стійкість його при подоланні перешкод ступінчастого типу крім характеристик гусеничного шасі також має значний вплив розміщення центру маси, що необхідно враховувати на етапі проектування.

Таким чином, існує достатньо багато різновидів НРК для пожежогасіння. В їх конструкції переважно використовуються шасі: або на крокуючому ході, або колісне, або гусеничне. Кожне з названих шасі має свої переваги та недоліки і впливає на здатність НРК долати різні види перешкод. Для виявлення осередків пожежі в більшості конструкцій використовуються телекамери, тепловізійні камери, датчики для виявлення диму та полум'я. НРК можуть бути спроектовані для застосування або тільки в приміщеннях, або на відкритих територіях, або як універсальні. Більшість універсальних НРК для пожежогасіння конструюються на гусеничному шасі, яке дозволяє їм пересуватися по м'яким ґрунтам та щебеню, а також при застосуванні певних конструктивних рішень навіть долати перешкоди ступінчастого типу. В більшості робіт тактичні можливості НРК досліджуються лише теоретично. Натурні випробування проведені тільки в окремих роботах і, при цьому, вони обмежені певними умовами.

Отже, актуальним і малодослідженим питанням є аналіз тактичних можливостей НРК для пожежогасіння в процесі натурних випробувань в умовах наближених до реальних.

**Мета та завдання дослідження.** Мета роботи полягає в аналізі тактичних можливостей наземного роботизованого комплексу побудованого на гусеничному шасі за результатами натурних випробувань в умовах наближених до реальних та формування на підставі цього рекомендацій щодо удосконалення його конструкції.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- провести натурні випробування НРК для пожежогасіння в умовах наближених до реальних;

- розробити рекомендації щодо удосконалення конструкції НРК для пожежогасіння.

**Методи дослідження.** У роботі використані методи проведення натурних випробувань в умовах полігону. Для опрацювання отриманих результатів та розробки рекомендацій щодо удосконалення конструкції НРК для пожежогасіння були використані методи аналізу та синтезу.

**Виклад основного матеріалу.** Випробування проводилися з використанням НРК для пожежогасіння Thermite RS3, який був виготовлений компанією Howe & Howe Technologies. Цей НРК побудований на гусеничному шасі і має наступні характеристики: обладнаний дизельним двигуном внутрішнього згоряння потужністю 36,8 к.с.; час роботи без дозаправки – до 20 годин; вага його складає 1588 кг; дорожній просвіт (кліренс) становить 0,25 м; габаритні розміри – 2,14 × 1,66 × 1,6383 м; керування є дистанційним і залежно від особливостей місцевості може здійснюватися з відстані до 300 м; швидкість руху складає до 13 км/год; обладнаний телекамерою та тепловізійною камерою; має лебідку з тяговим зусиллям 3629 кг; обладнаний лафетним стволом в якого дальність подачі суцільного струменя води складає до 100 м, тиск близько 13,8 бара, подача – 9464 л/хв; максимальний кут підйому, який він здатен долати складає 50 %, а кут нахилу поверхні – 35 %; обладнаний системою зрошення. Вказані технічні характеристики були заявлені виробником. На рис. 1 наведено загальний вигляд НРК для пожежогасіння Thermite RS3.

Етапів випробування було п'ять і проведення кожного з них відбувалося на певних локаціях, а саме:

- етап перший – гасіння пожежі автомобільного транспорту;

- етап другий – гасіння пожежі резервуару з легкозаймистою рідиною. Імітація ліквідації пожеж на території нафтобаз в безпосередній близькості до осередку загорання;

- етап третій – вогневий модуль. Робота у задимлених приміщеннях;



**Рис. 1. Загальний вигляд НРК для пожежогасіння Thermite RS3**

– етап четвертий – вогневий модуль. Приміщення з високою температурою максимально наближеної до реальної (до 200 °С);

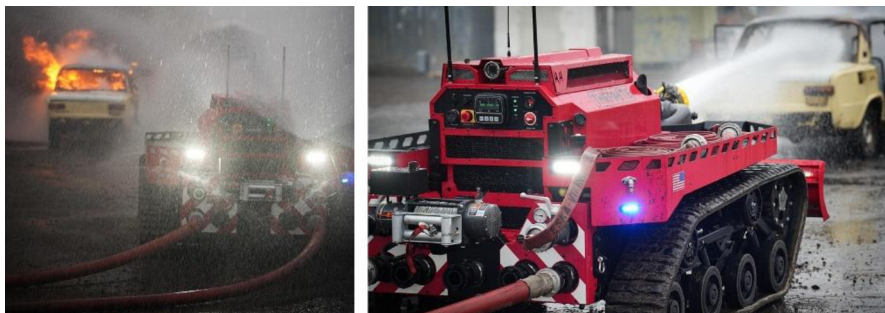
– етап п'ятий – гасіння розгерметизованого резервуара з якого відбувається витік горючого газу.

Перший етап випробувань, як було наведено раніше передбачав гасіння НРК пожежі на транспорті. Попередньо до НРК було приєднано дві магістральні рукавні лінії довжиною кожна по 80 м (діаметр рукавів 77 мм), які проклалися від пожежної автоцистерни АЦ-8-50(63022)-530М. Оператор за допомогою мобільної панелі керування направляв НРК до місця гасіння пожежі на транспорті. Водночас на НРК вмикалася в роботу система зрошення, а також відбувалося подавання розпиленого струменя води від стаціонарного лафетного ствола, яким обладнаний НРК для створення максимального захисту основних його конструктивних елементів від прямої дії вогню. Далі оператор змінив розпилений струмінь води на компактний та проводив гасіння осередків пожежі. Напрямок подавання води змінювався за рахунок маневрування лафетним стволом та зміною позиції НРК. При тиску на пожежному насосі пожежної автоцистерни 9 бар тиск на лафетному стволі НРК становив 6,8 бар, чого було достатньо для гасіння пожежі. Фото порядку проведення випробування наведено на рис. 2.

За результатами випробування на цьому етапі встановлено, що НРК реагує на дії оператора, а краплі води створюють мінімальне запотівання камери. Наявність відвалу в передній частині НРК дозволяє йому розчищати шлях до місця роботи, в тому числі переміщати легкові автомобілі, які перебувають на проїзній частині. Поряд з цим, було виявлено, що НРК має малий кут огляду у зв'язку з відсутністю бокових камер.

Другий етап випробувань полягав у випробуванні НРК в процесі гасіння пожежі резервуару з легкозаймистою рідиною. Для цього до НРК була приєднана одна рукавна лінія довжиною 160 м (діаметр рукавів 77 мм), яка прокладалася від пожежної автоцистерни АЦ-8-50(63022)-530М. Оператор за допомогою мобільної панелі керування направляв НРК до місця гасіння пожежі резервуару з легкозаймистою рідиною, вмикав захисну завісу та подачу розпиленого струменя води від стаціонарного лафетного ствола для створення захисної завіси. Далі відбувалося подавання суцільного струменя води для гасіння осередку пожежі. Тиск на насосі пожежної автоцистерни становив 9 бар, тиск на лафетному стволі – 4,8 бар, а дальність подачі струменя води становила від 30 до 40 м. Серед недоліків під час застосування НРК для гасіння пожежі було виявлено, як і на першому етапі випробувань, обмежений кут огляду через відсутність камер. Водночас процес гасіння пожеж резервуарів з легкозаймистими рідинами є складним завданням через відсутність в даній комплектації НРК генератора піни середньої або високої кратності. Фото порядку проведення цього випробування наведено на рис. 3.

На третьому етапі випробувань перевірялася здатність роботи НРК в задимленому середовищі. Для цього в кінці вогневого модуля була підпалена горюча речовина з метою створення в ньому задимлення. Перед в'їздом до вогневого модуля оператор вмикав в роботу систему зрошення та направляв НРК в середину. НРК перебував на безпечній відстані від осередку горіння, тому його корпус не піддавався прямому впливу



**Рис. 2. Процес випробування НРК під час гасіння пожежі на транспорті**



**Рис. 3. Процес випробування НРК під час гасіння пожежі резервуару з легкозаймистою рідиною**

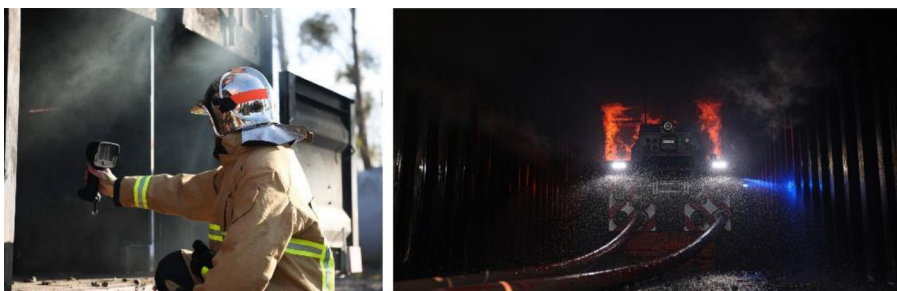
вогню. За результатами випробування було встановлено, що НРК з наявними технічними засобами спостереження не пристосований до роботи в задимлених середовищах (видимість становила менше 1 м).

На четвертому етапі випробувань перевірялася здатність НРК долати перешкоди у вигляді підйомів та виконувати роботи в умовах високих температур. Випробування відбувалося у вогневому модулі в кінець якого була поміщена горюча речовина, яка далі підпалювалася, що дозволило в середині створити температуру до 200 °С. Температура в середині вимірювалася з допомогою тепловізора 3М Scott V320. Оператор направляв НРК у вогневий модуль при цьому на ньому вмикалася в роботу система зрошення. При в'їзді у вогневий модуль від долав підйом в 12° і далі перебував у вогневому модулі впродовж 10 хвилин. Прямої дії вогню на корпус НРК не було. По закінченню вказаного терміну перебування у вогневому модулі НРК заднім ходом виїжджав з нього долаючи, при цьому, спуск в 12°. Далі проводився зовнішній огляд НРК з метою виявлення можливих пошкоджень. В результаті цього виявлено пошкодження пластикових елементів антен передачі відеосигналу та радіокерування але проблем з передачею сигналу під час роботи НРК не спостерігалось. Фото порядку проведення цього випробування наведено на рис. 4.

Останній етап випробувань полягав у перевірці можливості використання НРК при гасінні пожеж, які пов'язані з витоком горючого газу з резервуарів, в яких він зберігається. Оператор направляв НРК до місця гасіння модельного вогнища з увімкненням в роботу системи зрошення та подаванням розпиленого струменя води зі стаціонарного лафетного ствола. Далі оператор дистанційно змінював форму струменя води на суцільну і шляхом маневрування лафетним стволом було виконано зрізування факелу горіння, що могло дозволити особовому складу в захисному одязі та спорядженні встановити запірну арматуру для припинення витoku газу. Як і в попередніх етапах випробувань було виявлено, що НРК має малий кут огляду у зв'язку з відсутністю бокових камер. Фото порядку проведення цього випробування наведено на рис. 5.

З урахуванням результатів проведених випробувань можна сформулювати наступні рекомендації для удосконалення конструкції НРК для пожежогасіння, а саме:

- необхідно провести оновлення контролера для забезпечення роботи сигналів керування та відеозв'язку з мінімально можливою затримкою та оснащення функціям запису відео, а також передачі онлайн трансляції з місця роботи;
- встановити додатковий захист для системи передачі відеосигналу та радіокерування від впливу високих температур;



**Рис. 4. Перевірка здатності НРК виконувати роботи в умовах високих температур**



**Рис. 5. Перевірка здатності НРК виконувати гасіння пожеж, які пов'язані з витоком горючого газу з резервуарів, в яких він зберігається**

- встановити покращену систему керування або підсилювач сигналу для збільшення дальності роботи понад 300 м, що необхідно для забезпечення безпеки оператора;

- передбачити можливість комплектування НРК генераторами піни середньої та високої кратності;

- встановити бокові камери для забезпечення видимості при маневруванні НРК в умовах обмеженого простору;

- встановити на водопіnnі комунікації НРК зливні крани для зливу залишків вогнегасних речовин після його роботи, що необхідно в умовах експлуатації за низьких температур навколишнього середовища, а також головок-заглушок на з'єднувальні головки, які використовуються для приєднання рукавних ліній;

- встановити на патрубках водопіnnих комунікацій з'єднувальних головок типу STORZ для можливості приєднання пожежних рукавів діаметром 77 мм.

**Висновки.** За результатами проведених випробувань зроблені наступні висновки:

1. Встановлено, що НРК має малий кут огляду у зв'язку з відсутністю бокових камер. Водночас неможливо ефективно проводити пожежогасіння резервуарів з легкозаймистими рідинами через відсутність у комплектації НРК, який випробовувався генератора піни середньої або високої кратності. В задимлених середовищах наявні технічні засоби спостереження не дозволяли проводити роботи (видимість становила менше 1 м). Проблем подолання перешкод у вигляді похилих поверхонь з кутом нахилу  $12^\circ$  не виникало. При перебуванні НРК у вогневому модулі з температурою всередині до  $200^\circ\text{C}$  виявлено пошкодження пластикових елементів антен передачі відеосигналу та радіокерування але проблем з передачею сигналу під час його роботи не спостерігалось.

2. Розроблено рекомендації для удосконалення конструкції НРК з урахуванням результатів випробувань. Запропоновано встановити на

водопіnnі комунікації НРК зливних кранів для зливу залишків вогнегасних речовин після його роботи та обладнати патрубки водопіnnих комунікацій з'єднувальними головками типу STORZ.

В подальшому планується провести кінематичний аналіз і детально дослідити стійкість НРК при подоланні різних типів перешкод.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Baird C., Nokleby S. Autonomous firefighting using a quadruped robot. *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*. 2024. Vol. 48. P. 605–616. DOI: <https://doi.org/10.1139/tcsme-2023-0175>

2. Dongyi R., Guitao S. Review on Stable Motion Control Methods of Whole Body for Hydraulic Quadruped Robots. *Recent Advances in Electrical and Electronic Engineering*. 2026. Vol. 19. DOI: <https://doi.org/10.2174/0123520965387219250613053121>

3. Hua Z., Hua D., Rong X., Sun Y. Hydraulic actuated leg with passive flexibility and energy efficiency for heavy-duty quadruped robots. *Mechatronics*. 2026. Vol. 115. 103461. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2026.103461>

4. Mousse C. O., Benrabah M., Denis D., Marmoiton F., Chapuis R. Efficient Attitude Estimation for Mobile Wheeled Robots Using Elevation Maps. *IFAC-PapersOnLine*. 2025. Vol. 59. P. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2025.07.011>

5. Sucuoglu H. S., Bogrekci I., Demircioglu P. Development of Mobile Robot with Sensor Fusion Fire Detection Unit. *IFAC-PapersOnLine*. 2018. Vol. 51. P. 430–435. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.324>

6. Grigore L. Ş., Gorgoteanu D., Molder C., Alexa O., Oncioiu I., Ştefan A., et al. A Dynamic Motion Analysis of a Six-Wheel Ground Vehicle for Emergency Intervention Actions. *Sensors*. 2021. Vol. 21 (5). 1618. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21051618>

7. Tanyıldızı A. K. Design, Control and Stabilization of a Transformable Wheeled Fire Fighting Robot with a Fire-Extinguishing, Ball-Shooting Turret. *Machines*. 2023. Vol. 11(4). 492. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines11040492>

8. Zhao J., Zhang Z., Liu S., Tao Y., Liu Y. Design and Research of an Articulated Tracked Firefighting Robot. *Sensors*. 2022. Vol. 22 (14). 5086. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22145086>

9. Li S., Yun J., Feng C., Gao Y., Yang J., Sun G., et al. An Indoor Autonomous Inspection and Firefighting Robot Based on SLAM and Flame Image Recognition. *Fire*. 2023. Vol. 6 (3). 93. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6030093>

10. Xiangliang Z., Hua Z., Gen X., Yilin Z. Design and Simulation of Tracked Fire Fighting Robot based on RecurDyn. *Editorial Office of Journal of Mechanical Transmission*. 2020. Vol. 44. P. 89–95. DOI: <https://doi.org/10.16578/j.issn.1004.2539.2020.06.016>

## REFERENCES

1. Baird, C., & Nokleby, S. (2024). Autonomous firefighting using a quadruped robot. *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, 48, 605–616. <https://doi.org/10.1139/tcsme-2023-0175>

2. Dongyi, R., & Guitao, S. (2026). Review on Stable Motion Control Methods of Whole Body for Hydraulic Quadruped Robots. *Recent Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 19. <https://doi.org/10.2174/0123520965387219250613053121>

3. Hua, Z., Hua, D., Rong, X., & Sun, Y. (2026). Hydraulic actuated leg with passive flexibility and energy efficiency for heavy-duty quadruped robots. *Mechatronics*, 115, 103461. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2026.103461>

4. Mousse, C. O., Benrabah, M., Denis, D., Marmouton, F., & Chapuis, R. (2025). Efficient Attitude Estimation for Mobile Wheeled Robots Using Elevation Maps. *IFAC-PapersOnLine*, 59, 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2025.07.011>

5. Sucuoglu, H. S., Bogrekci, I., & Demircioglu, P. (2018). Development of Mobile Robot with Sensor Fusion Fire Detection Unit. *IFAC-PapersOnLine*, 51, 430–435. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.324>

6. Grigore, L. Ş., Gorgoteanu, D., Molder, C., Alexa, O., Oncioiu, I., Ştefan, A., et al. (2021). A Dynamic Motion Analysis of a Six-Wheel Ground Vehicle for Emergency Intervention Actions. *Sensors*, 21 (5). 1618. <https://doi.org/10.3390/s21051618>

7. Tanyıldızı, A. K. (2023). Design, Control and Stabilization of a Transformable Wheeled Fire Fighting Robot with a Fire-Extinguishing, Ball-Shooting Turret. *Machines*, 11 (4). 492. <https://doi.org/10.3390/machines11040492>

8. Zhao, J., Zhang, Z., Liu, S., Tao, Y., & Liu, Y. (2022). Design and Research of an Articulated Tracked Firefighting Robot. *Sensors*, 22 (14), 5086. <https://doi.org/10.3390/s22145086>

9. Li, S., Yun, J., Feng, C., Gao, Y., Yang, J., Sun, et al. (2023). An Indoor Autonomous Inspection and Firefighting Robot Based on SLAM and Flame Image Recognition. *Fire*, 6 (3), 93. <https://doi.org/10.3390/fire6030093>

10. Xiangliang, Z., Hua, Z., Gen, X., & Yilin, Z. (2020). Design and Simulation of Tracked Fire Fighting Robot based on RecurDyn. *Editorial Office of Journal of Mechanical Transmission*, 44, 89–95. <https://doi.org/10.16578/j.issn.1004.2539.2020.06.016>

© М. В. Іщук

### Оглядова стаття

Дата першого надходження статті до видання: 11.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026