Штефан Владислав Миколайович
Інженер
Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, Україна

Проскурін Олександр Сергійович
Провідний інженер
Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, Україна

Савєльєв Максим Володимирович
канд. техн. наук,
старший науковий співробітник
Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, Україна

РОБОТИЗОВАНА РАДІАЦІЙНА РОЗВІДКА В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

У результаті аварії на ЧАЕС 26 квітня 1986р, в навколишню середу було викинуто 14 ЕБк радіоактивних речовин [1]. Задля забезпечення радіаційної безпеки, було створено зона відчуження та безумовного відселення (Чорнобильська Зона Відчуження, ЧЗВ) — територія з щільністю забруднення ґрунту ізотопами цезію від 5,0 до 15,0 Кі/км^2, стронцію від 0,15 до 3,0 Кі/км^2, плутонію від 0,01 до 0,1 Кі/км^2.

Існують такі проблеми при забезпеченні радіаційної безпеки в зоні відчуження Чорнобильської АЕС:

- Масштаби (2576,9 км^2) забрудненої території та її різноманітність. В ЧЗВ входять сільська та міська забудова, ліси, торф'яники, промислова територія ЧАЕС та підприємств з поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) та радіоактивними відходами (РАВ).
- Природні ризики, такі як лісові пожежі та горіння торф'яників, піднімають у повітря радіоактивні речовини, що призводить до змін радіаційного забруднення.
- Бойові дії в зоні відчуження так і їх наслідки, що привели як до неконтрольованої зміни радіаційного забруднення в ЧЗВ так і до появи нових загроз для проведення робіт у вигляді мінної небезпеки та нерозірваних боєприпасів.

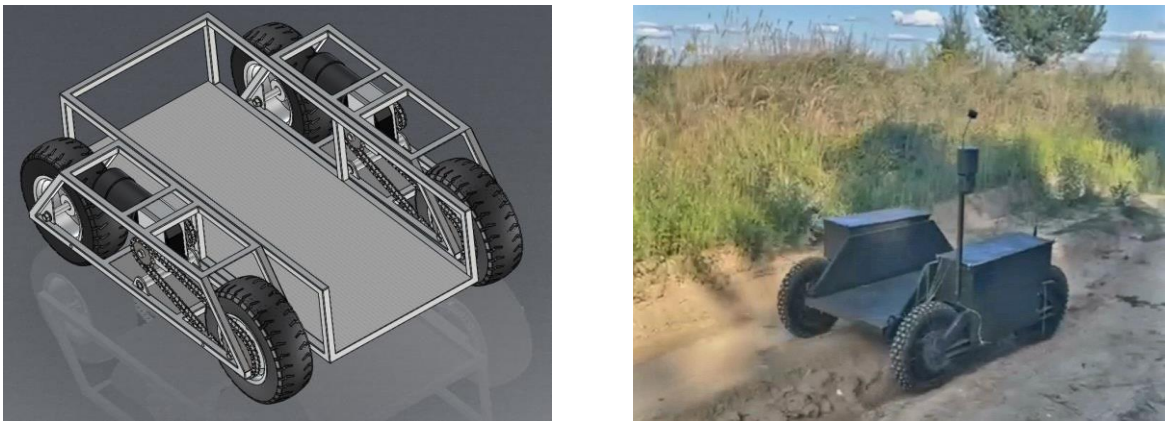
Зазначені проблеми роблять актуальною розробку автоматизованих та роботизованих методів та технологій радіаційної розвідки та подальшого моніторингу радіаційної обстановки.

Пропонується використання системи з наступних підсистем:

- Важка колісна чи гусенична платформа, що може пересуватися по дорогам та по слабопересіченій місцевості.
- Чотириногий робот, що може пересуватися пересіченою місцевістю, по сходах та в приміщеннях та може виконувати радіаційну розвідку в місцях, важкодоступних для важкої платформи.
- Літальний апарат коптерного типу, що може проводити розвідку з повітря, пролітати в місця куди не можуть потрапити інші роботи та виконувати функцію ретранслятора для передавання сигналу керування.

Важка платформа-носій.

Як транспортне рішення пропонується платформа, що складається з вантажної рами та знімних ходових блоків (рис. 1а.). Ця конструкція має спрощену шарнірну підвіску без пружних елементів і переважно складається з великосерійних компонентів. Простота



(а) (б)

Рис. 1. **Важка платформа-носій**

пружних елементів і переважно складається з великосерійних компонентів. Простота конструкції та низька вартість компонентів дає можливість налагодити виробництво такої системи в умовах будь-якої ремонтної майстерні.

Дане концептуальне рішення набуло розвитку у вигляді розробки української компанії «Трініті Роботікс» (рис. 1б). Наразі платформа проходить широкий набір випробувань в умовах українського Полісся, де підтверджуються високі показники прохідності поряд із низькою ціною кінцевого рішення.

Чотириногий робот. Після ряду успішних випробувань в умовах Чорнобильської АЕС чотириногих роботів типу Spot Boston Dynmamics, Go1 та Go2 Unitree, модифікованих для застосування в середовищі з обмеженим радіаційним забрудненням та споряджених різними системами детектування радіації, були визначені можливості та межі застосування платформ даного типу. [2]

Рис. 2. **Чотириногий робот GO1 Unitree під час випробувань в ЧЗВ**

Такі платформи здатні до подолання сходів та порогів, розмір яких не перевищує розміри визначені виробником платформ. Роботи успішно пересуваються пересіченою місцевістю, можуть заходити у відкриті дверні отвори будівель. На рис. 2 наведено Чотириногий робот GO1 Unitree оснащений детектором гамма випромінення під час випробувань в ЧЗВ (рис. 2).

Літальний апарат коптерного типу. Більшість існуючих рішень для радіаційного картографування засновано на вантажопідйомних «важких» дронах коптерного та літакового типів [3, 4, 5, 6]. Це зумовлено необхідністю перенесення корисного навантаження у вигляді високочутливих спектрометрів, що як правило мають значну вагу.

Поява на ринку великої кількості комерційних роботів широкого спектру застосування призвело до зниження цін на них до рівнів які прийнятні. З часом рівень радіації в ЧЗВ знизився достатньо, щоб не бути руйнівним для електроніки. Тому пропонується для задачі радіаційної розвідки в ЧЗВ використовувати комерційно доступні платформи.

На рис.2 наведено 3D модель рішення із використанням детектора Mirion AccuRad PRD та на базі комерційного дрону DJI Mavic 2 (рис. 3а), та схематичне зображення корисного навантаження в профільному розрізі (рис. 3б).

(а) (б)

Рис. 3. **3D модель рішення із використанням детектора Mirion AccuRad PRD та на базі DJI Mavic 2 (а), та схематичне зображення корисного навантаження в профільному розрізі (б)**

Система керування. Основними задачами, які необхідно вирішити при реалізації такої «системи з систем» будуть обробка первинного потоку даних з різних систем з метою формування колективного представлення про навколишнє середовище і прийняття індивідуальних (окремим роботом) та групових рішень в режимі реального часу, що дозволить адаптуватися до мінливих умов і викликів, які виникають під час виконання завдань радіаційної розвідки.

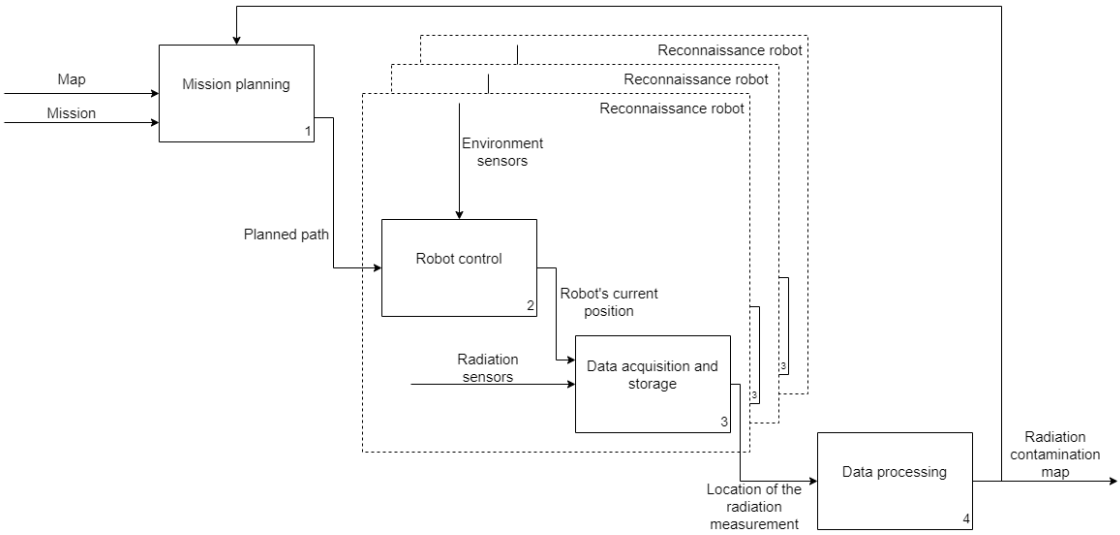


Рис. 4. **Функціональна модель системи радіаційної розвідки**

На (рис. 4) наведено функціональну діаграму системи радіаційної розвідки в нотації наближеній до IDEF0.

Висновки. Наявність значних радіаційно забруднених територій ЧЗВ, а також бойові дії в зоні відчуження та їх наслідки, призвели до появи нових загроз для проведення робіт з радіаційної розвідки у вигляді мінної небезпеки та нерозірваних боєприпасів. Це вимагає розробку автоматизованих та роботизованих методів та технологій радіаційної розвідки та подальшого моніторингу радіаційної обстановки в ЧЗВ.

Одним із рішень може стати використання мережевої системи з кількох безпілотних систем, які можуть доповнювати одна одну у вигляді важкої, колісної чи гусеничної платформи, чотириногого робота та літального апарату коптерного типу.

Список використаних джерел:

1. UN Chernobyl Forum Expert Group “Environment”, «Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience,» IAEA, Відень, 2006.
2. Y. Verbelen, D. Megson-Smith, M. R. Tucker, P. G. Martin, D. T. Connor, F. Russell-Pavier, E. Holland та T. B. Scott, «Radiation-resistant Sensor Fusion Instrumentation for Remote Inspection at Chornobyl Nuclear Power Plant,» в INUDECO, м. Славутич, Україна, 2022.
3. Y. Sanada та T. Torii, «Aerial radiation monitoring around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant using an unmanned,» Journal of Environmental Radioactivity, т. 139, pp. 294-299, 2014.
4. J. Peterson, W. Li, B. Cesar-Tondreau, J. Bird, K. Kochersberger, W. Czaja та M. McLean, «Experiments in unmanned aerial vehicle/unmanned ground vehicle radiation search,» Journal of Field Robotics, т. 36, № 4, pp. 818-845, 2019.
5. «New developments in airborne geophysical survey technologies and their application for investigation and radiological assessment of highly contaminated areas and legacy radioactive waste storages in the Chornobyl Exclusion Zone,» в INUDECO, м. Славутич, Україна, 2018.
6. L. Marques, A. Vale та P. Vaz, «State-of-the-Art Mobile Radiation Detection Systems for Different Scenarios,» Sensors, т. 21, № 4, 2021.