

**ТРИСТАН Андрій Вікторович** (доктор технічних наук, старший науковий співробітник)  
**МАТЮЩЕНКО Ольга Генадіївна**

*Харківський Національний університет імені Івана Кожедуба, Харків, Україна*

## ГРУПОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У МІСІЯХ З ПОШУКУ ТА ВПЛИВУ НА НАЗЕМНИЙ ОБ'ЄКТ

*В роботі розроблена мета-модель мультиагентної системи пошуку та впливу на наземний об'єкт групою безпілотних літальних апаратів при централізованому варіанті управління. Проведено аналіз досвіду групового застосування безпілотних літальних апаратів при виконанні завдань із пошуку та впливу на об'єкти земної поверхні, визначені ролі агентів та їх завдання в складі групи. Визначені завдання інтелектуальної системи управління безпілотними літальними апаратами.*

### Виклад основного матеріалу дослідження

Аналіз літератури свідчить про актуальність досліджень в галузі створення та модернізації систем групового управління роботизованими комплексами, в тому числі гетерогенних систем, здатних розширити можливості виконання завдань та вивести їх на якісно новий рівень. Наукові дослідження із створення групових систем управління можна поділити на категорії: комунікація між елементами групи [1, 2], методи та моделі управління групою [1-4], розподіл завдань та ролей групи [5, 6], планування маршруту (дій) групи [7, 8], штучний інтелект в задачах розпізнавання ситуацій та прийняття рішень [9-11].

Складність реалізації методів колективного управління БпЛА полягає у вирішенні завдань, пов'язаних із плануванням завдання та польоту групи, комунікацією, розподілом завдань і ролей в групі.

Перспективним в системах управління БпЛА є впровадження мультиагентних систем (МАС), які є напрямком штучного інтелекту в області розподілених комп'ютерних систем та паралельних обчислень, що передбачає створення системи з багатьох взаємодіючих агентів [12].

У табл. 1 визначені основні ролі та їх завдання в групі при виконанні місії з пошуку та впливу на об'єкт.

Таблиця 1

Ролі БпЛА та їх завдання в складі групи

Роль агента	Корисне навантаження	Завдання в складі групи
Лідер	Обчислювальні системи попередньої обробки даних моніторингу, датчики збору інформації, лазерний радар, системи автоматизації процесів виявлення, розпізнавання та ідентифікації об'єктів, оптико-електронне обладнання, засоби зв'язку	– планування (перепланування) маршруту; – моніторинг; – цілерозподіл; – узагальнення даних та визначення сценарію – комунікація з пунктом управління.
Розвідник	Обчислювальні системи попередньої обробки даних моніторингу, датчики збору інформації, лазерний радар, системи автоматизації процесів виявлення, розпізнавання та ідентифікації об'єктів, оптико-електронне обладнання, засоби зв'язку	– моніторинг; – ідентифікація та класифікація об'єктів; – наведення та корегування; – повторний моніторинг.
Радіоелектронного впливу	Системи радіоелектронного подавлення, системи радіотехнічної розвідки, засоби зв'язку	– радіотехнічна розвідка; – подавлення засобів протидії групі БпЛА при виконанні місії.
Фізичного впливу	Системи та засоби ураження; система наведення, засоби зв'язку	– моніторинг; – ураження об'єкту, нанесення повторного удару.

Також до складу групи можуть входити: відволікаючий, хибний, БпЛА, БпЛА – жертва [2], ролі яких є другорядними та спрямовані на дезінформування протидіючої сторони, як додатковий засіб визначення місця цих об'єктів. Для управління інтелектуальними літальними апаратами в

складі групи визначені наступні: централізоване та децентралізоване. Основною перевагою централізованого управління групою БпЛА з лідером-розвідником є ефективне подолання протидії виконанню місії за рахунок ситуативного автономного режиму. Однак, існує необхідність

переходу між централізованим та децентралізованим режимами при виконанні місії для збільшення адаптаційних можливостей групи до дій протилежної сторони. Подібну складну систему управління можна вважати штучною гетерогенною системою, що потребує самоорганізації для інтеграції інформації від різних джерел та генерації рекомендацій особі, яка приймає рішення [14]. Загальна схема зв'язків між

агентами групи при централізованому управлінні наведено на рисунку 1. Лідером призначається БпЛА зі складу групи, який містить відповідне цільове навантаження (та займає відповідне положення у групі). Стратегія групового руху забезпечується метаевристичними, як варіант за типом “зграя” у відповідності до дій лідера.

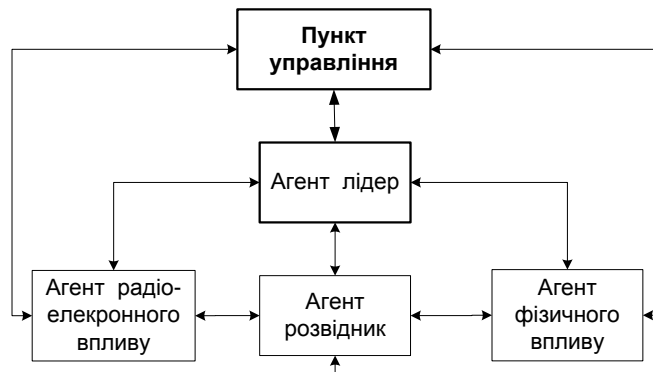


Рис. 1. Схема зв'язків між агентами групи БпЛА та пунктом управління (централізований варіант управління)

Організація зв'язків, які представлені на рисунку 1 забезпечує підтримання актуальності інформації в системі та оперативність виконання завдань групою.

Цикл роботи МАС з пошуку та впливу на об'єкт представлено на рис. 2.

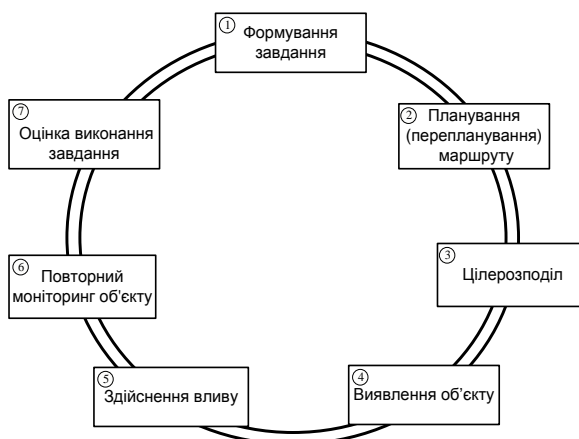


Рис. 2. Цикл роботи агентів МАС з виявлення та впливу на об'єкт противника

На рисунку 3 у вигляді схеми представлена мета-модель системи пошуку та впливу на об'єкт групою БпЛА.

Пунктирна лінія відображає зв'язок між агентами виконавцями, які використовується при централізованому управлінні.

Оскільки задача пошуку та впливу на об'єкт пов'язана із застосуванням технічних засобів, які здатні нанести руйнування та шкоду цивільному об'єктам чи інфраструктурі, структура МАС передбачає два рівня підтвердження безпеки: підтвердження оператором через команду управління безпосередньо до виконавця або через агента лідера та постійний контроль зон безпеки самим агентом.

Мета-модель містить два типи внутрішніх сценаріїв поведінки агента [15]: сценарії, які активуються при комунікації з іншим агентом та сценарії, що активуються самим агентом. Наприклад, агент розвідник при виявленні об'єкту активує сценарій ідентифікації, тоді як для активації сценарію виявлення необхідне повідомлення з командою управління від агента лідера.

Для ефективної роботи МАС пошуку та впливу на об'єкт групою БпЛА мають бути визначені правила та стратегії поведінки агентів, що відповідатимуть середовищу застосування МАС та ролі кожного агента. Правила закладені в БЗ МАС дозволять агентам правильно та ефективно реагувати на ситуації [12].

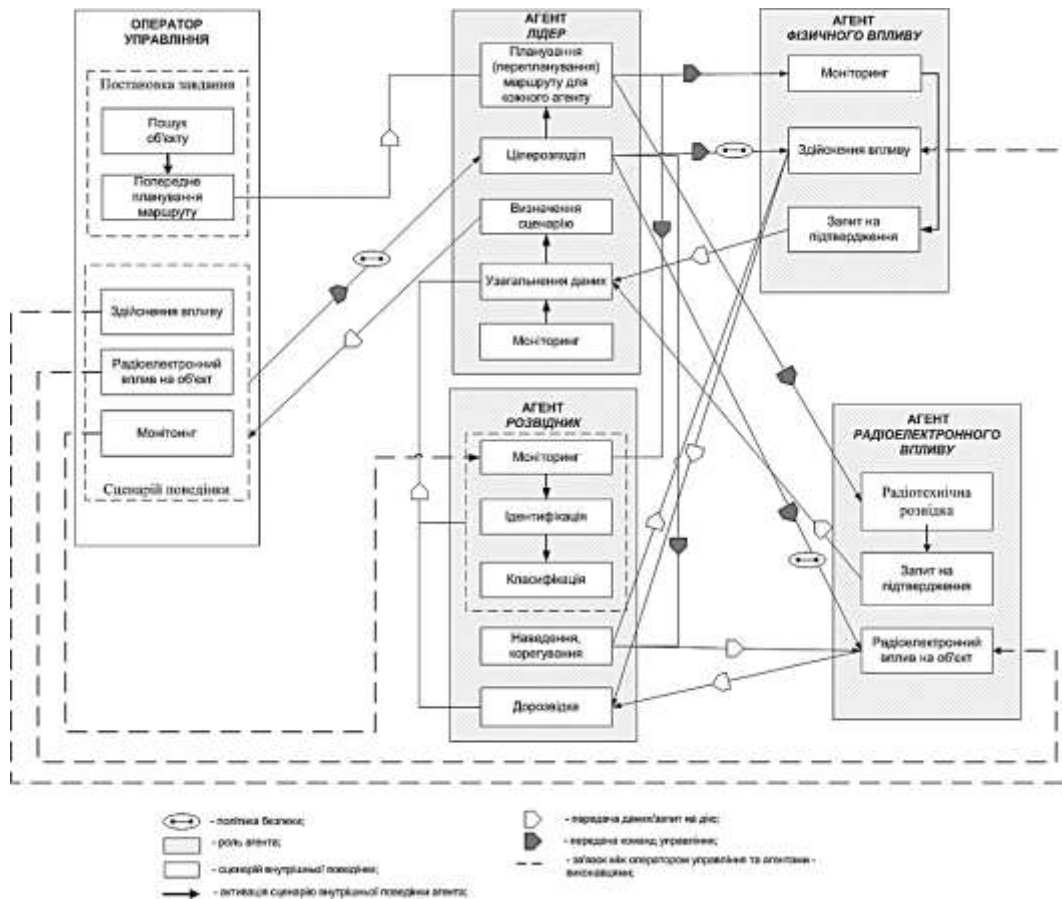


Рис. 3. Мета-модель системи пошуку та впливу на об'єкт групою БПЛА

В результаті проведених досліджень отримана мультиагентна модель групового застосування БПЛА при виконанні спеціальних місій. Відмінністю даної моделі є урахування варіанту централізованого управління з лідером та децентралізованого управління. Синтез даної моделі дозволяє створити систему правил та описати поведінку БПЛА при виконанні спеціальних місій для створення відповідного методу групового управління. Розвитком даної моделі є застосування теорії нечітких множин та лінгвістичних змінних при формуванні системи правил – продукцій БЗ агентів.

### Список використаних джерел

1. Моисеев, В. С. (2013). Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. *Казань: Республиканский центр мониторинга качества образования.*
2. Абросимов, В. (2017). *Групповое движение интеллектуальных летательных аппаратов в антагонистической среде.* Litres.
3. Cummings, M. L., How, J. P., Whitten, A., & Toupet, O. (2011). The impact of human-automation collaboration in decentralized multiple unmanned vehicle control. *Proceedings of the IEEE, 100(3)*, – p. 660-671.
4. Cummings, M. L., How, J. P., Whitten, A., & Toupet, O. (2011). The impact of human-automation collaboration in decentralized multiple unmanned vehicle control. *Proceedings of the IEEE, 100(3)*, – p. 660-671.
5. Ziyang, Z. H. E. N., Ping, Z. H. U., Yixuan, X. U. E., & Yuxuan, J. I. (2019). Distributed intelligent self-organized mission planning of multi-UAV for dynamic targets cooperative search-attack. *Chinese Journal of Aeronautics, 32(12)*, – p. 2706-2716.
6. Dong, X., Zhou, Y., Ren, Z., & Zhong, Y. (2016). Time-varying formation tracking for second-order multi-agent systems subjected to switching topologies with application to quadrotor

formation flying. *IEEE Transactions on Industrial Electronics, 64(6)*, – p. 5014-5024.

7. Indriyanto, T., Rizki, A. R., Hariyadin, M. L., Akbar, M. F., & Syafi, A. A. A. (2020, April). Centralized swarming UAV using ROS for collaborative missions. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2226, No. 1, p. 030012). AIP Publishing LLC.
8. Pham, H. X., La, H. M., Feil-Seifer, D., & Nguyen, L. V. (2018). Autonomous uav navigation using reinforcement learning. arXiv preprint arXiv:1801.05086.
9. Madridano, Á., Al-Kaff, A., & Martín, D. (2020). 3d trajectory planning method for uavs swarm in building emergencies. *Sensors, 20(3)*, 642.
10. Cummings, M. L. (2015). Operator interaction with centralized versus decentralized UAV architectures. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, – p. 977-992.
11. Calhoun, G. L., Ruff, H. A., Behymer, K. J., & Frost, E. M. (2018). Human-autonomy teaming interface design considerations for multi-unmanned vehicle control. *Theoretical issues in ergonomics science, 19(3)*, – p. 321-352.
12. Russell, S., & Norvig, P. (2002). *Artificial intelligence: a modern approach.*
13. Бугайченко, Д. Ю. (2007). Разработка и реализация методов формально-логической спецификации самонастраивающихся мультиагентных систем с временными ограничениями. *Сайт математико-механического факультета СпбГУ. – Санкт-Петербургский государственный университет, 2010.*
14. Колесников, А. В., Кириков, И. А., & Листопад, С. В. (2014). Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. М.: ИППИРАН.
15. Городецкий, В. И., Карсаев, О. В., Самойлов, В. В., & Серебряков, С. В. (2009). Прикладные многоагентные системы группового управления. *Искусственный интеллект и принятие решений, (2)*, – p. 3-24.