

Величина  $C3П \times Q3П = EP$  – визначає економічну ефективність від заміщення палива.

#### Список посилань

1. Єремєєв І.С. Енергозбереження в житлово-комунальному господарстві: навч.-метод. посібник/ І.С. Єремєєв, О.І. Єщенко. – Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2021. – 352 с.

УДК 004.056.5

**Клим В.Ю., канд. техн. наук, доцент**

Університет митної справи та фінансів, м. Дніпро, [v0123klim@gmail.com](mailto:v0123klim@gmail.com)

**Катан В.О., канд. фіз.-мат. наук, доцент**

Дніпровський національний університет імені О. Гончара

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КІБЕРОХОРОНИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ ДРОНІВ

Із допомогою дронів вирішується великий клас прикладних задач, в яких потрібно вести панорамну і динамічну відеозйомку, перевозити компактні і легкі вантажі. Актуальний клас задач по захисту та охороні з використанням БПЛА на сучасному етапі розвитку має тенденцію переходу від приватного сектору до державного, зокрема спрямований на об'єкти критичної інфраструктури (ОКІ) [1, 2].

Під час виконання завдання над територією об'єкта, що охороняється, запускається дрон, який важко побачити навіть удень і практично неможливо виявити вночі. При цьому дрон постійно веде відеозйомку. Вмонтовані відеокамери мають достатні технічні характеристики для того, щоб з висоти близько трьохсот метрів зафіксувати незаконне переміщення навіть однієї людини на території, що охороняється. Сучасні дрони здатні підтримувати надійний зв'язок від 5 до 10 км в залежності від конкретної моделі. Досить часто об'єкт критичної інфраструктури займає досить велику площу. А чим більше площа у промислового, логістично-складського або сільськогосподарського комплексу, тим більше людських ресурсів потрібно задіяти для її охорони. Крім того, охорона великої площі традиційними засобами вимагає залучення великої кількості охоронців для виконання патрулювання. Така система охорони, навіть тільки периметра, за певних умов (наявність великої кількості споруд, складна геометрія периметру, можлива наявність вибухових предметів, тощо) вимагає додаткових фінансових затрат, пов'язана з ризиком для життя та здоров'я, залежить від людського фактору. Охорона території об'єкта за допомогою дронів дозволяє істотно знизити ризики та зберегти людський ресурс без втрати рівня захищеності ОКІ [3, 4].

У роботі [5] авторами розглянуто математичну модель системи забезпечення захисту та безпеки об'єктів критичної інфраструктури, в якій переміщення декілька дронів відбувається автоматично, при цьому управління системою засноване на виконанні жадібного алгоритму. Надано опис постановки задачі, в якій виділено опис власне компонент системи, їх динамічні характеристики та параметри функціонування, взаємодії, опис основних умов та співвідношень для жадібного алгоритму.

Вперше для класу задач по захисту та охороні ОКІ запропонована багаторівнева модель мультисистеми дронів, яка виконує функції безперервного відеоспостереження за відкритою територією ОКІ разом з розташованими на ній спорудами, що охоплює велику площу, або у разі важкодоступності деяких ділянок території внаслідок складного розташування наземних споруд, їх часткового або повного руйнування або потенційної вибухонебезпечності (наприклад, витік газу або мінування).

В моделі передбачено розташування станцій підзарядки на висоті, що відповідає рівню польоту дронів (наприклад, на даху наземної споруди), яке скоротить перерви у робочому

режимі кожного з них. Крім цього, станції, що працюють на сонячній енергії [6], вирішують проблему автономності енергозабезпечення системи дронів загалом.

У роботі зроблено деякі припущення щодо можливого руху кожного дрону: переміщення дрону за вертикальною складовою незначно порівняно з відстанню до станції; в ідеальному випадку дрон переміщується вздовж горизонтальної поверхні. При цьому у фізичній моделі вплив метеорологічних умов – вітру, крапель дощу або температури – не враховується. Додатково в моделі обумовлена відсутність будь-яких перешкод при переміщенні дрону горизонтальною площиною.

Поставлена математична задача відноситься до оптимізаційних задач за часом і простором. При цьому процес пошуку оптимального рішення потребує великого обсягу обчислень, який далеко не завжди має хорошу збіжність. Використання запропонованої моделі жадібного алгоритму передбачає отримання рішення максимального покриття у разі рівномірного розташування точок початкового руху дронів. Крім того наявність у системі кількох рівнів (висот) польоту дронів допомагає розділити поставлену задачу на декілька: на рівні, який контролює найменшу кількість ділянок, збіжність рішення буде найбільшою.

В роботі наданий детальний аналіз запропонованої математичної моделі та перспективи розвитку роботи. Зокрема деякі дрони (рівні дронів) можуть виконувати захисну функцію для ОКІ за наявності корисної маси. Представлена модель має перспективи свого розвитку в подальших роботах, пов'язаних із визначенням оптимальної кількості станцій підзарядки, розташуванням станцій підзарядки на кожному заданому рівні польоту дронів, відстеженням заряду батареї та маси кожного дрону, тощо.

Таким чином запропонована модель показує принцип функціонування системи управління та контролю доступу на об'єкті критичної інфраструктури, що займає велику площу, у вигляді мультисистеми дронів, управління якою реалізується через використання жадібного алгоритму. Показано, що така система має низку експлуатаційних переваг: здійснення контролю за рухом дронів не залежить від людського чинника, під час контролю більшої частини об'єкта критичної інфраструктури задіяна мінімальна кількість людського ресурсу.

#### Список посилань

1. UgCS Commander: Manage multiple UAVs. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ugcs.com/page/ugcs-commander-manage-multiple-uavs> (дата звернення 24.04.2023).
2. Norasma, C., Fadzilah, M. A., Roslin N., Zanariah, Z. W. N., Tarmidi, Z., Candra F S.: Unmanned Aerial Vehicle Applications In Agriculture. 1st South Aceh International Conference on Engineering and Technology. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 506, 012063 IOP Publishing. (2019). doi:10.1088/1757-899X/506/1/012063.
3. Литвиненко В.І., Подоляка С.А., Лісовський П.М. Міжвідомче партнерство: інтерпол та охорона кордону: навчальний посібник. Рекомендовано до друку на засіданні Вченої Ради Міжрегіональної Академії управління персоналом. 2021. 102 с. ISBN: 978-617-520-137-4.
4. Повітряні війни. Безпілотні літальні апарати захопили небо. (2022) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://texty.org.ua/projects/107398/povitryani-vijny-bezpilotni-litalni-aparaty-zahoryly-nebo/> (дата звернення 24.04.2023).
5. Klym V., Tarasenko Yu., Katan V. Modeling the Security of Critical Infrastructure Objects Using a Drone System. Proceedings Book of the International Conference SECS-2022 October 25–26th, 2022. Challenges and Reality of the IT-space: Software Engineering and Cybersecurity 2023. P. 16-27. ISBN: 978-83-7712-049-1. URL: [https://secs.knute.edu.ua/doc/SECS\\_2022.pdf](https://secs.knute.edu.ua/doc/SECS_2022.pdf) (дата звернення 25.04.2023).
6. Du, Yao, Wangy, K., Yangzx, K., Zhang G.: Trajectory Design of Laser-Powered Multi-Drone Enabled Data Collection System for Smart Cities. 2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 09–13 December 2019. Waikoloa, HI, USA (2019). DOI: 10.1109/GLOBECOM38437.2019.9013552.