Єна Максим Вікторович, аспірант,

Харківський аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковскього, Харківський авіаційний інститут, м. Харків

ORCID: 0009-0006-0664-3244

**Інформаційні технології управління БПЛА в умовах обмеженого повітряного простору**

**Вступ**

В останні роки безпілотні літальні апарати (БПЛА) набули широкого застосування у різноманітних сферах: від військових операцій і розвідки до цивільних задач, таких як логістика, сільське господарство, моніторинг довкілля та пошуково-рятувальні операції. Проте активне зростання кількості БПЛА у повітряному просторі ставить перед дослідниками та інженерами нові виклики. Одним із ключових питань є управління трафіком БПЛА, особливо в умовах обмеженого повітряного простору, де присутні додаткові обмеження на висоту, маршрути польотів та інші регуляторні вимоги.

Завдання забезпечення безпеки польотів, уникнення зіткнень та ефективного використання повітряного простору постає як одне з пріоритетних у контексті урбанізованих територій. Це вимагає розробки комплексних інформаційних технологій (ІТ) та програмно-апаратних рішень, здатних оперативно обробляти велику кількість даних, приймати оптимальні рішення у реальному часі та забезпечувати безпечну координацію польотів.

**Основні виклики керування БПЛА в умовах обмеженого повітряного простору**

* 1. **Безпека польотів та уникнення зіткнень.** У міському чи будь-якому іншому густонаселеному середовищі існує висока ймовірність перетину маршрутів польоту між кількома БПЛА або навіть з пілотованими літальними апаратами. Тому потрібні алгоритми розпізнавання загроз у режимі реального часу, здатні вчасно попередити оператора або ініціювати автоматичне коригування курсу.
	2. **Обмеження з боку регуляторних органів.** Кожна країна має свої норми та правила щодо експлуатації БПЛА, включаючи заборонені зони, максимальну висоту польоту, дозволені коридори тощо. У разі динамічних змін законодавства чи появи тимчасово закритих ділянок повітряного простору (наприклад, під час проведення публічних заходів) необхідно оперативно оновлювати картографічні та навігаційні дані[1].
	3. **Забезпечення надійного зв’язку**. Передача даних для управління БПЛА та отримання телеметричної інформації потребують достатньо широкосмугового каналу зв’язку з мінімальною затримкою. В умовах щільної забудови чи інших перешкод традиційні бездротові канали можуть працювати нестабільно.

**Інформаційні технології, що застосовуються для управління БПЛА**

**Системи моніторингу та диспетчеризації**

* **Централізовані платформи УПР (управління повітряним рухом)**: Для регулювання польотів кількох дронів одночасно застосовуються хмарні сервіси, які отримують поточні дані про місцеположення БПЛА та їхні плани польоту. На основі цих даних система може приймати рішення щодо пріоритезації польотів, перенаправлення маршрутів у разі аварійних ситуацій, а також аналізувати історичні дані для прогнозування майбутніх сценаріїв.

**Геоінформаційні системи (ГІС) та цифрові карти**

* **Інтерактивні мапи обмежених зон**: У реальному часі можуть оновлюватися дані про заборонені або тимчасово недоступні зони (наприклад, зони проведення масових заходів, військові об’єкти, аеропорти). Інформаційні технології на базі ГІС дають змогу автоматично прокладати або коригувати маршрути з урахуванням цих обмежень [2].

**Інтелектуальні алгоритми обробки даних**

* + - **Методи машинного навчання** (зокрема глибокі нейронні мережі) використовуються для аналізу потоку телеметричних даних, виявлення аномалій у роботі дронів та прогнозування зіткнень.
		- **Комп’ютерний зір** дозволяє розпізнавати об’єкти у повітрі та на землі, динамічно адаптуючи маршрут БПЛА до реального середовища.

**Протоколи зв’язку та інфраструктура**

* + - **4G/5G та Wi-Fi**: Використовуються як основні канали передачі даних для більшості комерційних БПЛА. Умови обмеженого простору можуть ускладнювати поширення сигналу, тому потрібні репітери або мережі малопотужних станцій.

**Застосування та перспективи розвитку**

**Безпека і контроль дотримання законодавства**

* + - Розвиток спеціалізованих додатків для органів регулювання, що здійснюють моніторинг польотів у режимі реального часу. Такі додатки дозволяють автоматично виявляти порушення, як-от вліт у заборонену зону чи перевищення дозволеної висоти.
		- Використання електронних ідентифікаторів БПЛА, що спрощує процес ідентифікації кожного апарата у повітряному просторі.

**Урбаністичні та логістичні проекти**

* + - У містах майбутнього БПЛА можуть відігравати ключову роль у швидкій доставці невеликих вантажів, медичних препаратів та пошти, а також у патрулюванні вулиць та забезпеченні охорони громадського порядку.
		- Для ефективної реалізації таких проектів розробляються єдині платформи керування, де усі учасники (державні органи, приватні компанії, постачальники послуг) мають доступ до уніфікованої бази геоданих та стандартів взаємодії [3].

**Розвиток стандартів і протоколів взаємодії**

* + - Відкриті стандарти (типу ASTM, EUROCAE) сприяють уніфікації підходів до комунікації між різними виробниками дронів та центрами управління.
		- З’являються протоколи рівня U-space (в Європі) та UTM (Unmanned Traffic Management) в США, що описують принципи безпечної інтеграції БПЛА в загальний повітряний простір.

**Висновок**

Умови обмеженого повітряного простору потребують ретельно продуманої системи управління БПЛА, що враховує одночасно безпекові, технічні та регуляторні аспекти. Сучасні інформаційні технології, такі як хмарні платформи, мультиагентні системи, ГІС-рішення, нейромережеві підходи до обробки даних та протоколи високонадійного зв’язку, є ключовими складовими для успішної інтеграції безпілотної авіації в міські умови та інші складні середовища.

**Література**

* + - 1. T. Martin, Z. F. Huang and A. McFadyen, "Airspace Risk Management for UAVs A Framework for Optimising Detector Performance Standards and Airspace Traffic using JARUS SORA," 2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC), London, UK, 2018, pp. 1516-1525, doi: 10.1109/DASC.2018.8569542.
			2. Bruggemann, T.; McFadyen, A.; Williams, B. Airspace Constrained Free-Flight Analysis: Implications for Uncrewed Air Traffic Management. *Drones* 2024, *8*, 603. <https://doi.org/10.3390/drones8100603>
			3. Ali, B. S. (2019). *Traffic management for drones flying in the city*. *International Journal of Critical Infrastructure Protection, 26,* 100310. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2019.100310>