Єна Максим Вікторович, аспірант

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» Харків

<https://orcid.org/0009-0006-0664-3244>

**РОЛЬ ХМАРНИЙ ОБЧИСЛЕНЬ У МАСШТАБОВАНОСТІ СЕРВІСІВ УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ БПЛА**

Швидке зростання кількості безпілотних літальних апаратів (БПЛА) вимагає ефективного управління повітряним простором, зокрема в умовах міської інфраструктури. Традиційні централізовані системи управління трафіком виявляються недостатньо гнучкими та масштабованими для обробки великої кількості БПЛА. Хмарні обчислення відіграють ключову роль у створенні адаптивних, надійних і масштабованих сервісів управління трафіком БПЛА (UAV Traffic Management, UTM).

**Використання хмарних платформ для зберігання та обробки телеметричних даних**

БПЛА постійно генерують великі обсяги телеметричних даних (координати, швидкість, висота, стан акумулятора, погодні умови тощо), що мають передаватися у реальному часі до центрів обробки. Хмарні платформи, такі як Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure або Google Cloud Platform, забезпечують:

* + **Масштабоване сховище** для зберігання структурованих і неструктурованих даних.
	+ **Високошвидкісну обробку** даних завдяки використанню віртуальних серверів та контейнеризованих мікросервісів.
	+ **Паралельну обробку даних** для підвищення швидкості реагування та ухвалення рішень. Завдяки використанню хмари можна інтегрувати дані з різних джерел (БПЛА, наземних сенсорів, камер спостереження, погодних API) для побудови єдиної ситуаційної картини повітряного простору [1].

**Забезпечення динамічного розподілу обчислювальних ресурсів**

Хмарні сервіси дозволяють динамічно масштабувати ресурси відповідно до поточного навантаження (наприклад, збільшення кількості активних БПЛА в пікові години). За допомогою **автоскейлінгу** та **орієнтації на події** можна в режимі реального часу збільшувати кількість віртуальних машин або контейнерів, що обслуговують трафік [2]. Це дозволяє:

* + Зменшити затримки у маршрутизації польотів.
	+ Підвищити стійкість системи до пікових навантажень або збоїв.
	+ Забезпечити ефективне резервне копіювання, реплікацію та швидке відновлення даних.

Хмара також дозволяє запускати алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування завантаження повітряного простору, виявлення конфліктів маршрутів, оптимізації польотних планів.

**Інтеграція з мобільними та наземними інтерфейсами**

Хмарні інтерфейси дозволяють оперативно обмінюватися інформацією між усіма учасниками UTM-системи: операторами БПЛА, наземними диспетчерами, службами безпеки. Завдяки API та хмарним SDK можна створювати мобільні застосунки для контролю за маршрутом польоту, отримання повідомлень про зміни погодних умов чи інструкції від регулятора. Хмара забезпечує **віддалений доступ** до інтерфейсів системи в будь-якій точці світу.

**Безпека та відповідність вимогам**

Хмарні платформи забезпечують шифрування даних, автентифікацію користувачів та контроль доступу. Завдяки **дотриманню стандартів** (наприклад, ISO/IEC 27001, SOC 2, NIST) хмарні сервіси можуть бути інтегровані в державні або приватні UTM-рішення. Зберігання історії польотів та телеметрії в хмарі дозволяє проводити аудит, аналіз інцидентів і вдосконалення алгоритмів управління [3].

**Висновки**

Хмарні обчислення є фундаментальним компонентом масштабованих та адаптивних систем управління трафіком БПЛА.Вони забезпечують не лише ефективне зберігання та обробку великих обсягів даних, але й динамічне масштабування обчислювальних ресурсів, що є критично важливим у контексті зростання кількості БПЛА.Надалі роль хмарних технологій у UTM-системах лише зростатиме, зокрема у зв'язку з розвитком міської повітряної мобільності (UAM), інтеграцією 5G та появою автономних роїв дронів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Amazon Web Services. AWS for Drones and Robotics [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://aws.amazon.com/industries/aerospace/robotics/>
2. Google Cloud. UAV Data Management Using GCP [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://cloud.google.com/solutions/uav-data
3. NASA UTM Project. Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://utm.arc.nasa.gov/>