

УДК 681.5:504.064:629.735.45

А.А. Косінська, студент гр. ПК-41мп, к.т.н., доц. Богдан Г.А.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ ПРО ПАРАМЕТРИ ДОВКІЛЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Анотація. У статті розглянуто використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу стану довкілля. Проаналізовано сучасні методи екологічного контролю та показано переваги БПЛА у забезпеченні мобільного та просторово деталізованого збору даних. Подано узагальнену структуру системи моніторингу та обґрунтовано вибір сенсорів для вимірювання газових, пилових, мікрокліматичних і навігаційних параметрів. Запропонована комбінація сенсорів забезпечує отримання точних і просторово прив'язаних екологічних даних, необхідних для оцінки рівнів забруднення повітря.

Ключові слова: довкілля; БПЛА; сенсори; просторові дані.

ВСТУП

Проблема забруднення навколишнього середовища залишається однією з ключових екологічних загроз сучасності. Збільшення кількості мобільних джерел викидів, інтенсивні промислові процеси та урбанізація призводять до регулярного перевищення нормативних рівнів забруднювальних речовин. Традиційні стаціонарні станції моніторингу забезпечують високу точність вимірювань, однак вони не дозволяють отримувати просторово-розподілені дані та не забезпечують гнучкості у виборі зон спостереження [1].

В умовах зростання вимог до оперативності та деталізації екологічних даних особливо актуальним є застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Дрони можуть виконувати моніторинг на малих висотах, повторювати польоти за заданими маршрутами, забезпечувати багатоточкові вимірювання та доступ до віддалених і небезпечних територій [2].

Проте якість зібраних даних значною мірою залежить від конструкції БПЛА, характеристик сенсорів, умов польоту та алгоритмів фільтрації [3]. Тому необхідним є створення комплексної математичної та програмної моделі системи, яка дозволить оцінити працездатність платформи та підвищити точність моніторингу ще на етапі проектування.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

Сучасні системи моніторингу навколишнього середовища є складними багатофункціональними комплексами, які забезпечують збір, аналіз і передачу екологічних даних у режимі реального часу або з певною періодичністю. Для зручності дослідження та впровадження таких систем їх класифікують за різними ознаками залежно від цілей, територіального охоплення, частоти оновлення даних та способів доступу до них (рис. 1).

Рис. 1 демонструє класифікацію систем моніторингу навколишнього середовища за ключовими критеріями: об'єктами контролю, територіальною масштабністю, ступенем автоматизації, частотою збору даних та способом доступу до інформації. У схемі показано, що такі системи можуть бути локальними або глобальними, ручними чи повністю автоматизованими, а також

Під час польоту сенсорний модуль (газові сенсори, датчики пилю, температури й вологості) фіксує параметри довкілля у режимі реального часу з прив'язкою до GPS-координат та висоти. Зібрана інформація надходить до бортового контролера у вигляді «сирих» показників, які потребують очищення, тому далі застосовуються методи фільтрації — рухоме середнє, експоненціальне згладжування або фільтр Калмана [3]. Після цього дані агрегуються за маршрутом, часом або територіальними секторами, що дозволяє отримати компактні та структуровані набори показників. На аналітичному етапі використовуються статистичні методи, GIS-технології та просторовий аналіз для визначення концентрацій, тенденцій та проблемних зон [1]. Завершальна стадія — візуалізація у вигляді карт, графіків, профілів забруднення чи інтерактивних панелей, що забезпечує зручне подання результатів і підтримку управлінських рішень.

3. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СЕНСОРІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

Ефективність автоматизованої системи екологічного моніторингу значною мірою залежить від правильного вибору сенсорів, які забезпечують високу точність, стабільність та достовірність вимірювання параметрів у реальних умовах польоту БПЛА. Оскільки дрон працює у складних аеродинамічних та вібраційних середовищах, сенсорний модуль повинен мати високу чутливість, стійкість до шумів, низьку інерційність та здатність коректно вимірювати параметри під впливом змін температури, вологості та тиску. Далі наведено комплексний аналіз та обґрунтування вибору газових, пилових, мікрокліматичних, навігаційних та інерційних сенсорів, які дозволяють формувати повний набір екологічних показників та забезпечують просторову прив'язку даних для подальшої аналітики.

Таблиця 1. Характеристики сенсорів, використаних у системі моніторингу довкілля

Сенсор	Вимірюваний параметр	Технологія	Діапазон /точність	Частота оновлення	Особливості
MH-Z19B	CO ₂	NDIR	0–2000 ppm, ±(50 ppm + 5 %)	1 Гц	Температурна компенсація, висока стабільність
PMS7003	PM1.0 / PM2.5 / PM10	Лазерне розсіювання	0–500 µg/m ³ , чутливість до 0.3 µm	1–2 Гц	Потребує захисту від турбулентних потоків
SHT31	Температура, вологість	Цифровий сенсор	±0.3°C; ±2 % RH	до 10 Гц	Висока стабільність і швидкий відгук
DPS310	Атмосферний тиск, висота	Барометричний сенсор	Точність висоти до ±0.1 м	до 128 Гц	Висока точність при вібраціях
Neo-6M	GPS-координати	GNSS (GPS)	Точність ~2.5 м	1 Гц	Доступний, енергоефективний
Neo-M8N	GPS/GLONASS/Galileo	GNSS (багатосистемний)	Точність ~1.5 м	до 10 Гц	Швидкий фікс і висока стійкість до завад

Сенсор	Вимірюваний параметр	Технологія	Діапазон /точність	Частота оновлення	Особливості
MPU-6050	Акселерометр + гіроскоп	IMU (6 DOF)	$\pm 2-16$ g; $\pm 250-2000$ °/с	до 1 кГц	Дешевий і компактний модуль
MPU-9250	Акселерометр, гіроскоп, магнітометр	IMU (9 DOF)	$\pm 2-16$ g, магнітометр 4800 μ T	до 1 кГц	Підвищена точність і орієнтація в просторі

Ефективність системи визначається точністю та стабільністю сенсорів. Газовий сенсор MH-Z19B забезпечує вимірювання CO₂ за технологією NDIR [4], тоді як PMS7003 є високочутливим сенсором PM2.5 та PM10 [5]. SHT31 забезпечує точні вимірювання температури та вологості [4], а GNSS-модулі Neo-6M/M8 гарантують якісну просторову прив'язку даних [4]. Така комбінація сенсорів гарантує комплексний характер моніторингу та дозволяє отримувати достовірні, багатопараметричні та просторово узгоджені екологічні дані, необхідні для побудови карт забруднення та прийняття обґрунтованих рішень щодо стану довкілля.

ВИСНОВОК

У статті показано, що використання БПЛА значно підвищує ефективність екологічного моніторингу завдяки мобільності, просторовій деталізації та можливості збору даних у важкодоступних зонах. Розроблена структура системи дозволяє виконувати повний цикл обробки екологічних даних — від вимірювання до аналітики та візуалізації. Завдяки вибраним сенсорам система отримує надійні та просторово прив'язані показники, що робить БПЛА ефективним інструментом для швидкої оцінки якості навколишнього середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] National Research Council. Air Quality Management in the United States. Washington : The National Academies Press, 2004. 351 p.
- [2] Villa T. F., Gonzalez F., Miljievic B., Ristovski Z. Development and validation of a UAV-based system for air pollution measurements. Sensors. 2016. Vol. 16. P. 2202.
- [3] Wang Z., Chen L., Tao J. Real-time air quality estimation using UAV-mounted particulate matter sensors. Atmospheric Environment. 2020. Vol. 230. P. 117–125.
- [4] Winsen Electronics. MH-Z19B CO₂ Sensor Module Datasheet. Zhengzhou : Henan Hanwei Electronics Co., Ltd., 2021. 12 p.
- [5] Plantower. PMS7003 Laser Particle Sensor Manual. Beijing : Plantower Co., Ltd., 2020. 16 p.

Наук. Керівник – доц. Богдан Г. А.