

Улічев О.С., Марціленко С. В.

## РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ БПЛА НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ RTK. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ БПЛА НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ RTK

*На сьогодні розробка автоматизованих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є актуальною та перспективною у багатьох сферах діяльності. Такі системи мають певні переваги та недоліки, але з розвитком технологій вони стають більш ефективними та доступними. У цій роботі досліджуються типи автоматизованих систем БПЛА для порівняння їх із системами, керованими операторами. Автоматизовані системи БПЛА не завжди мають переваги в порівнянні з системами, керованими операторами. Багато технологій можуть підвищити параметри стійкості автономних систем за допомогою їх конструкції та конфігурації, включаючи технології навігації, орієнтування в просторі, уникнення перешкод тощо. Різні вчені підкреслювали важливість вивчення питань автономного водіння тактичних БПЛА для вирішення завдань, пов'язаних з безпекою цивільного населення та в бойових умовах, і пропонували різні алгоритми роботи таких систем. Метою даного дослідження є вдосконалення існуючих алгоритмів автономних систем матеріально-технічного забезпечення та навігації безпілотних систем як альтернативи ручному управлінню. У результаті дослідження наведено порівняння точності з іншими навігаційними методами. Особливу увагу приділено архітектурі системи та інтеграції RTK з іншими компонентами БПЛА, також розглянуто приклад готового рішення системи у вигляді програми, написаної на мові Python.*

***Ключові слова:** автоматизовані системи БПЛА, безпілотні літальні апарати, керування, системи, технології, застосування, точність позиціонування, GNSS, алгоритм, програма, Python.*

**Постановка проблеми.** Активне поширення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) стало можливим завдяки стрімкому розвитку навігаційних технологій. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання RTK-навігації, яка забезпечує сантиметрову точність у реальному часі. Такий рівень точності має вирішальне значення для завдань логістичного характеру, що є особливо актуальним для України. Тема автономних БПЛА, необхідних для логістичного забезпечення та виконання інших важливих завдань в умовах війни в Україні, є надзвичайно своєчасною, і існує значний інтерес до створення ефективних алгоритмів роботи таких систем для підтримки збройних сил України в цей складний період у Європі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато вчених підкреслили важливість дослідження питань автономного керування тактичними БПЛА для вирішення завдань, пов'язаних з безпекою цивільного населення та в умовах бойових дій та запропонували різні алгоритми роботи таких систем [1, 2]. У цій роботі досліджуються типи автоматизованих систем БПЛА для порівняння їх із системами. Автоматизовані системи БПЛА не завжди мають переваги в порівнянні з системами, керованими операторами. Автоматизація подібних систем має як переваги, так і обмеження порівняно з рішеннями, що передбачають керування оператором, тому виникає потреба у пошуку найбільш ефективних технологічних підходів до виконання цих завдань.

В результаті даного дослідження виділено основні переваги таких систем, а також розглянуто рішення на базі технології кінематичної глобальної системи позиціонування в реальному часі (RTK GPS), яка може бути придатною для вирішення існуючих проблем завдяки своїй високій точності та надійності.

**Викладення основного матеріалу.** Технологія RTK базується на принципі використання фазового вимірювання сигналів від супутників GNSS. Система складається з двох елементів: базової станції та мобільного приймача. Базова станція фіксує своє місцезнаходження та передає поправки до приймача, встановленого на БПЛА. [2].

Принцип роботи RTK GPS полягає в тому, що, додаючи локальну базову станцію до супутникових сигналів, система може коригувати можливі помилки у GPS-даних. Це досягається шляхом порівняння даних, отриманих базовою станцією, з даними від мобільного пристрою. Усі виявлені похибки виправляються, забезпечуючи високу точність позиціонування [3, 4]. Завдяки цьому зменшуються похибки, викликані атмосферними явищами, багатопрореневістю та похибками супутникових орбіт. До основних компонентів системи RTK GPS входять GPS-приймач, локальна базова станція та канал передачі даних між ними. GPS-приймач, встановлений на БПЛА, транспортному засобі чи іншій мобільній платформі, отримує сигнали від GPS-супутників. Базова станція також приймає ці ж GPS-дані, але додатково отримує інформацію від локальної довідкової станції, яка розташована поблизу базової станції і використовується для корекції похибок у GPS-даних.

Таблиця 1

## Порівняння автоматизованих систем та систем, керованих операторами

Параметр	Автоматизовані системи	Системи, керовані операторами
Точність роботи системи	Висока (особливо з RTK)	Залежить від кваліфікації оператора
Гнучкість роботи системи	Залежить від програмного та апаратного забезпечення	Висока, оператор може коригувати роботу системи, але існує ймовірність помилки
Ресурси на розробку та запуск	Більш висока вартість через високу технологічність	Низька вартість розробки через низьку технологічність, витрати на навчання операторів
Безпека	Залежить від програмного та апаратного забезпечення	Залежить від кваліфікації оператора
Складність керування	Висока, потребує технічних знань користувача	Низька, більш проста для користувача
Ймовірність помилки у керуванні через людський фактор	Відсутня	Присутня

На додаток до високої точності та можливостей роботи в реальному часі, RTK GPS пропонує кілька інших функцій, що роблять його універсальним інструментом для широкого спектру застосувань. До них відносяться:

Довговічність батареї: Завдяки використанню локальної базової станції на додачу до супутникових сигналів, система може працювати довше без необхідності постійного підзарядження.

Надійність: Системи RTK GPS створені для забезпечення стабільної роботи навіть у складних умовах, що робить їх особливо корисними для роботи в екстремальних умовах [5, 6].

Доступність за ціною: У порівнянні з іншими високоточними GPS-системами, RTK GPS є відносно недорогим варіантом.

Обмеження:

- Необхідність якісного зв'язку з базовою станцією;
- Вища вартість системи порівняно зі стандартними GPS;
- Вимоги до калібрування та налаштувань. Порівняння точності навігаційних технологій.

Таблиця 2

## Порівняння точності навігаційних технологій

Технологія	Точність	Характеристики
GPS (стандартний)	3–5 м	Доступність, але відносно низька точність.
DGPS	До 15 см	Використовує поправки від наземних станцій, дециметрову точність.
RTK	1–3 см	Сантиметрова точність у режимі реального часу.

Приклад простої програми для навігації БПЛА (дрона) з використанням RTK (Real-Time Kinematic) для точного позиціонування. Програма написана на Python з використанням бібліотек Dronekit (для керування дроном через MAVLink) та RTK GPS даних (через серіальний порт або MAVLink повідомлення): [7]:

```

from dronekit import connect, VehicleMode, LocationGlobalRelative
import time

print("Підключення до дрона...")
vehicle = connect('udp:127.0.0.1:14550', wait_ready=True)

print("Очікування RTK фіксації...")
while True:
    eph = vehicle.gps_0.eph
    fix_type = vehicle.gps_0.fix_type
    if fix_type >= 5:
        print(f"RTK фіксовано: Тип фіксації = {fix_type}, EPH = {eph}")
        break
    else:
        print(f"Фікс не RTK: Тип = {fix_type}, EPH = {eph}")
    time.sleep(1)

def takeoff(target_altitude):
    print("Перевірка готовності дрона...")
    while not vehicle.is_armable:
        print("Очікування готовності дрона...")
        time.sleep(1)

    print("Встановлення режиму GUIDED...")
    vehicle.mode = VehicleMode("GUIDED")

    print("Увімкнення двигунів...")
    vehicle.armed = True
    while not vehicle.armed:
        print("Очікування запуску двигунів...")
        time.sleep(1)

    print(f"Зліт до {target_altitude} м...")
    vehicle.simple_takeoff(target_altitude)

    while True:
        current_alt = vehicle.location.global_relative_frame.alt
        print(f"Поточна висота: {current_alt:.1f} м")
        if current_alt >= target_altitude * 0.95:
            print("Досягнуто цільової висоти")
            break
        time.sleep(1)

TARGET_ALTITUDE = 10
takeoff(TARGET_ALTITUDE)

print("Політ до цільової точки...")

```

```

target_location = LocationGlobalRelative(48.507905, 32.262296, TARGET_ALTITUDE)
vehicle.simple_goto(target_location)

time.sleep(30)

print("Повернення на базу...")
vehicle.mode = VehicleMode("RTL")

vehicle.close()
print("Місія завершена.")

```

Вищенаведений фрагмент коду написаний на базі алгоритму реалізації RTK-навігації з Dronekit, рис. 1:

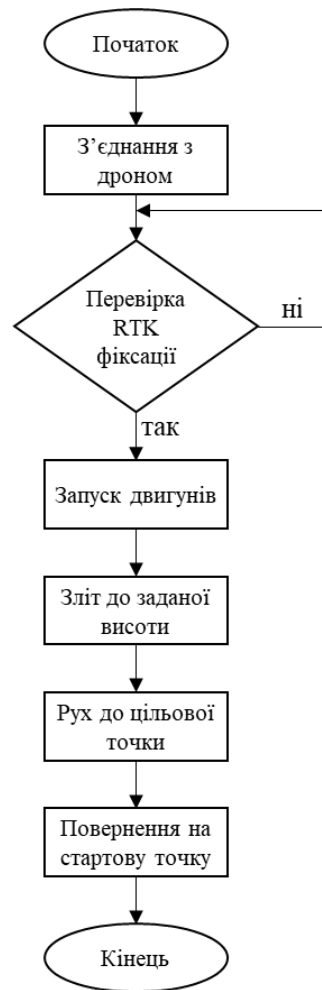


Рисунок 1 - Блок схема реалізації RTK-навігації з Dronekit

У даному випадку реалізовано перевірку фіксації RTK, зліт БПЛА та політ до точної координати з RTK-позиціонуванням, повернення на стартову точку.

#### Висновки.

Інтеграція RTK-навігації в автоматизовані системи управління БПЛА відкриває нові можливості для прецизійного виконання завдань. Висока точність, надійність та адаптивність роблять цю технологію незамінною у багатьох професійних сферах. Продовження досліджень у напрямі оптимізації зв'язку та зниження витрат сприятиме ширшому впровадженню RTK у повсякденну практику [8, 9].

Для програмної реалізації запропонованої інформаційної системи обрана мова Python, яка є однією з найзручніших і найпопулярніших мов програмування для роботи з одноплатними комп'ютерними системами, такими, наприклад, як Raspberry Pi, а також має відповідні інструментальні засоби і бібліотеки для аналізу даних. Такий підхід дозволяє забезпечити використання єдиного стеку інструментальних засобів розробки програмного забезпечення для усіх модулів системи, включаючи центр обробки даних (ЦОД) з системою підтримки прийняття рішень (СППР). За допомогою Python можна отримувати та аналізувати дані з різних сенсорів дрона. GNSS та GSM-модулі використовуються в системах позиціонування і надають координати дрона, а також дозволяють побудувати маршрут його переміщення.

## References

1. Autonomous military drones are no longer science fiction. Retrieved from: <https://www.nato.int/docu/review/uk/articles/2017/07/28/avtonomn-vjs-kov-droni-tse-vyoe-ne-fantastika/index.html> (accessed: 10.04.2024).
2. S. Martsilenko. Relevance of using autonomous unmanned systems based on RTK GPS technology and their advantages compared to manual control systems. Collection of materials of the 5th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students of KNEU named after V. Hetman, 2024, pp. 218–219.
3. S. Martsilenko. Types of automated UAV systems. Advantages and disadvantages compared to operator-controlled systems. Issue No. 12 of International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Actual Problems of Automation and Control", 2024, pp. 12–16.
4. Colomina, I., & Molina, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, pp. 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013> RTK GPS:
5. Understanding Real-Time Kinematic GPS Technology. Retrieved from: <https://globalgpssystem.com/gnss/rtk-gps-understanding-real-time-kinematic-gps-technology/> (accessed: 21.03.2024).
6. Real-Time Kinematic (RTK) Positioning. URL: <https://globalgpssystem.com/gnss/rtk-gps-understanding-real-time-kinematic-gps-technology/> (accessed: 14.06.2024).
7. I. Aftanaziv, R. Stotsko, A. Shevchuk, O. Strogan, O. Boiko. Determination of coordinates and motion parameters of unmanned aerial vehicles. Weapons Systems and Military Equipment. 2022. No. 3, pp. 49–59.
8. An Accurate Land-Vehicle MEMS IMU/GPS Navigation System Using 3D Auxiliary Velocity Updates. Retrieved from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2161-4296.2007.tb00403.x> (accessed: 30.09.2024).
9. O. Prykhodko, V. Matviichuk. Using a neural network to improve UAV heading stability in the absence of GNSS. Interuniversity collection "Scientific Notes", 2023, pp. 173–176.

*Nowadays, the development of automated unmanned aerial vehicle (UAV) systems is relevant and promising in many spheres of activity. Such systems have certain advantages and disadvantages, but with the development of technology, they become more efficient and available. In this work, the types of automated UAV systems are investigated to compare them with systems controlled by operators. Automated UAV systems do not always have advantages in comparison with systems controlled by operators. Many technologies can increase the stability parameters of autonomous systems by their design and configuration, including technologies for navigation, space orientation, obstacle avoidance, etc. Different scientists have emphasized the importance of studying the issues of autonomous driving of tactical UAVs for solving problems related to the safety of the civilian population and in combat conditions, and have proposed various algorithms for the operation of such systems.*

*The purpose of this study is to improve the existing algorithms of autonomous logistic support and navigation systems for unmanned systems as an alternative to manual control. As a result of the study, a comparison of positioning accuracy with other navigation methods is presented. Particular attention is given to the system architecture and the integration of RTK with other UAV components. An example of a complete system solution is also provided in the form of a Python-based software implementation.*

**Keywords:** *Automated UAV systems, unmanned aerial vehicles, control, systems, technologies, applications, positioning accuracy, GNSS, algorithm, program, Python.*

**Улічев О. С.** - к. т. н., доцент, Центральнoукраїнський Національний Технічний Університет, м. Кропивницький, Україна

**Марціленко С. В.** - , здобувач вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня, Приватний Вищий Навчальний Заклад "Європейський університет", м. Київ, Україна.