

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ НАВІГАЦІЇ БПЛА

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*У роботі проведено аналіз методів навігації безпілотних літальних апаратів. У сучасних безпілотних літальних апаратах (БПЛА) використовуються різні засоби і методи навігації для забезпечення точного визначення місцеположення та стабільності польоту такі як: глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), Lidar (Light Detection and Ranging), оптичні стереокамери, інерціальні навігаційні системи (INS), системи візуальної одометрії, системи з оптичною навігацією. Найефективнішими є комбіновані підходи до навігації, які поєднують переваги кількох методів і мінімізують їх недоліки. Часто GPS-дані доповнюються інформацією з інерціальних датчиків, камер або Lidar-систем, що забезпечує більш стабільну навігацію навіть за умов втрати супутникового сигналу. При виборі комбінованої системи слід враховувати баланс між точністю, вартістю та обчислювальною складністю, щоб не ускладнювати конструкцію та програмну реалізацію навігаційного модуля БПЛА.*

**Ключові слова:** оптична навігація, лідарна навігація, інерціальні системи.

### **Abstract**

*An analysis of the navigation methods of unmanned aerial vehicles has been performed. Modern unmanned aerial vehicles (UAVs) use various means and methods of navigation to ensure accurate location determination and flight stability, such as global navigation satellite systems (GNSS), Lidar (Light Detection and Ranging), optical stereo cameras, inertial navigation systems (INS), visual odometry systems, systems with optical navigation. The most effective are combined approaches to navigation, which combine the advantages of several methods and minimize their disadvantages. Often, GPS data is supplemented with information from inertial sensors, cameras, or Lidar systems, which provides more stable navigation even in the event of satellite signal loss. When choosing a combined system, one should consider the balance between accuracy, cost, and computational complexity to not complicate the UAV navigation module's design and software implementation.*

**Keywords:** optical navigation, Lidar navigation, inertial systems.

### **Вступ**

У сучасному світі безпілотні літальні апарати (БПЛА) набули широкого розповсюдження та застосування у різних сферах, зокрема у військовій справі, наукових дослідженнях, промисловості, сільському господарстві, екологічному моніторингу та логістиці [1]. Завдяки стрімкому розвитку технологій, існує велике різноманіття безпілотних платформ – від компактних квадрокоптерів до великих літальних апаратів з фіксованим крилом.

Однією з ключових переваг БПЛА є можливість їх використання у автономному або віддаленому режимі керування. Це дозволяє оператору виконувати складні завдання, знижуючи ризики для людини та підвищуючи ефективність виконання операцій. Важливим аспектом реалізації таких можливостей є точне визначення положення літального апарата у просторі.

### **Аналіз існуючих підходів**

Одним із найпоширеніших методів визначення місцеположення безпілотних літальних апаратів є використання глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), зокрема GPS [2]. Ця технологія забезпечує високу точність визначення координат шляхом обробки сигналів від кількох супутників, що робить її основним інструментом для навігації. Основними перевагами GPS-модулів є їхня відносно низька вартість,

невелике енергоспоживання та проста інтеграція у навігаційні системи БПЛА. Однак серед суттєвих недоліків варто відзначити можливість втрати сигналу у складних умовах, таких як міська забудова, густі лісові масиви чи зони радіоперешкод.

Альтернативним підходом до навігації є використання технології Lidar (Light Detection and Ranging). Lidar-системи сканують навколишній простір за допомогою лазерного випромінювання, створюючи тривимірну карту місцевості [3]. Основними перевагами цього підходу є висока точність вимірювань, здатність проникати крізь тонкі об'єкти, такі як листя дерев, та можливість використання у середовищах, де супутникова навігація є недоступною. Водночас, значними недоліками є висока вартість обладнання та складність обробки отриманих даних, що потребує потужних обчислювальних ресурсів для аналізу хмар точок (Point Cloud) [3].

Ще одним методом визначення місцеположення є використання оптичних стереокамер. Цей підхід базується на аналізі зображень з двох або більше камер, що дозволяє оцінити відстань до об'єктів шляхом порівняння різниці у перспективах. Основними перевагами цього методу є його відносно низька вартість та відсутність необхідності у високопродуктивних обчислювальних системах. Однак точність такого способу навігації є порівняно низькою, особливо у складних умовах освітлення або на місцевостях зі слабо вираженим рельєфом.

Інерціальні навігаційні системи (INS) є ще одним поширеним варіантом визначення положення БПЛА. Вони базуються на аналізі показників акселерометрів і гіроскопів, що дозволяє оцінювати переміщення апарата у просторі [2]. Перевагою такого методу є його незалежність від зовнішніх сигналів, що забезпечує стабільну роботу навіть за відсутності GPS. Більшість сучасних польотних контролерів уже мають вбудовані інерціальні датчики. Однак суттєвим недоліком є накопичення похибок у вимірюваннях, що призводить до поступового зниження точності через неможливість врахування впливу зовнішніх факторів, таких як пориви вітру. Існують високоточні INS-рішення, що компенсують цю проблему, але їхня вартість може значно перевищувати ціну самого БПЛА.

Метод візуальної одометрії є ще одним підходом до навігації. Він передбачає обробку послідовних кадрів із камери для оцінки зміни положення апарата у просторі. Такий метод може бути ефективним у контрольованих середовищах, але його точність може значно знижуватися в умовах недостатнього освітлення або при відсутності чітких орієнтирів у полі зору.

Оптична навігація передбачає порівняння отриманих зображень місцевості з попередньо створеними картами [2]. Цей метод може бути ефективним у стабільних умовах, однак він чутливий до змін рельєфу, сезонних змін ландшафту та атмосферних умов. Для забезпечення його ефективності необхідне регулярне оновлення бази картографічних даних.

Комбіновані підходи до навігації є найефективнішими, оскільки вони поєднують переваги кількох методів і мінімізують їхні недоліки [2]. Найчастіше GPS-дані доповнюються інформацією з інерціальних датчиків, камер або Lidar-систем, що дозволяє забезпечити більш стабільну навігацію навіть за умов втрати супутникового сигналу. Однак під час вибору комбінованої системи слід враховувати баланс між точністю, вартістю та обчислювальною складністю, щоб не ускладнювати конструкцію та програмну реалізацію навігаційного модуля БПЛА.

## Висновки

У сучасному світі, де безпілотні літальні апарати різних класів і формфакторів знаходять широке застосування, критично важливим аспектом є їхня навігація. В результаті проведеного аналізу різних методів визначення місцеположення, зокрема використання GPS, лідарної навігації, інерціальних систем, візуальної одометрії та оптичної навігації, встановлено, що кожен із підходів має свої переваги та обмеження. Найбільш ефективними є комбіновані підходи, які поєднують декілька методів для забезпечення надійної та точної навігації. Наприклад, інтеграція GNSS з інерціальними датчиками, оптичними системами або Lidar дозволяє компенсувати недоліки окремих методів та забезпечити стабільну роботу БПЛА навіть у складних умовах. При виборі навігаційної системи слід враховувати баланс між точністю, вартістю та обчислювальною складністю, щоб забезпечити оптимальну ефективність та надійність роботи безпілотного літального апарату.

## СПИСОК ВИКОРИСТОНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Top 10 Commercial Uses For Drones [[Top 10 Commercial Uses For Drones | Inspired Flight](#)]
2. Optical Navigation Systems [[Optical Navigation Systems | by Takayuki Hoshizaki | Purdue University, School of Aeronautics & Astronautics Engineering](#)]
3. How is LiDAR used in Robotic Navigation? [[How is LiDAR used in Robotic Navigation? Pros and Cons | by Aleksandra Szczepaniak | Leorover](#)]

**Bigas Олександр Сергійович** — студент групи 2ПІ-216, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [alex.bigas.2004@gmail.com](mailto:alex.bigas.2004@gmail.com)

**Bihars Oleksandr** — Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [alex.bigas.2004@gmail.com](mailto:alex.bigas.2004@gmail.com)