

УДК 512.624.95

Радзівілов Г.Д.

Військовий інститут телекомунікації та інформатизації

Ад'юнкт науково-організаційного відділу

Радзивиллов Г.Д.

Военный институт телекоммуникаций и информатизации

Адъюнкт научно-организационного отдела

Radzivilov G.D.

Military Institute of Telecommunications and Information

Associate Scientific organizational department

Фесенко О.Д.

Військовий інститут телекомунікації та інформатизації

Ад'юнкт науково-організаційного відділу

Фесенко А.Д.

Военный институт телекоммуникаций и информатизации

Адъюнкт научно-организационного отдела

Fesenko O.D.

Military Institute of Telecommunications and Information

Associate Scientific organizational department

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ БПЛА**

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ БПЛА**

**ANALYSIS METHODS OF CONSTRUCTION OF AUTOMATIC CONTROL
SYSTEMS UAV**

Анотація. У статті здійснено аналіз сучасних систем автоматизованого управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА). Розглядається склад

та призначення основного обладнання і корисного навантаження БПЛА. Визначено основні вимоги, які висуваються до САУ БПЛА. Запропоновано алгоритмічне забезпечення системи навігації за орієнтирами. Для забезпечення заданої вертикальної швидкості при наборі висоти польоту пропонується використання системи автоматичного управління вертикальною швидкістю (САУ ВШ).

Ключові слова: *безпілотний авіаційний комплекс, безпілотний літальний апарат, система автоматизованого управління, корисне навантаження.*

Аннотація. В статті проведено аналіз сучасних систем автоматизованого управління беспілотними летальними апаратами (БПЛА). Розглядається склад і призначення основного обладнання і корисної навантаження БПЛА. Визначені основні вимоги, які пред'являються до САУ БПЛА. Предложено алгоритмічне забезпечення системи навігації по орієнтирам. Для забезпечення заданої вертикальної швидкості при наборі висоти польоту пропонується використання системи автоматичного управління вертикальною швидкістю (САУ ВШ).

Ключевые слова: *беспилотный авиационный комплекс, беспилотный летательный аппарат, система автоматизированного управления, полезная нагрузка.*

Abstract. In the article the analysis of modern systems of automated control of unmanned aerial vehicles (UAVs). Discusses the composition and appointment of the main equipment and the payload of the UAV. Defines the basic requirements for ACS UAV. The proposed algorithmic support system navigation landmarks. To provide the desired vertical speed during climb flight, the use of the automatic control system vertical speed (HS ACS).

Key words: *unmanned aircraft system unmanned aerial vehicle, automatic control system, payload.*

Аналіз останніх публікацій. Сучасні досягнення в області мікроелектроніки, обчислювальної техніки, зв'язку, навігації і інших областях науки і техніки дозволяють ставити і вирішувати завдання створення якісно нових безпілотних наземних і безпілотних літальних засобів моніторингу територій.

Активно розвивається напрямок моніторингу завантаження доріг і прогнозування транспортних потоків. Це практичні методи одержання та використання інформації про місцезнаходження, швидкості і напрямку руху наземних безпілотних засобів і стеження за автотранспортом, для оперативного диспетчерського управління рухом. На безпілотний засіб для моніторингу автотранспорту, контролю маршруту пересування розміщується спеціальний ГЛОНАСС/GPS термінал. Обладнання в автоматичному режимі визначає координати місця розташування транспорту з допомогою можливості прийому сигналів навігаційних супутникових систем ГЛОНАСС і GPS, а також інші навігаційні параметри, такі як швидкість, напрямок руху і стан підключених датчиків, а також технічний стан безпілотного засобу в цілому [6].

Безпілотні засоби оснащуються ультразвуковими сенсорами, радарними датчиками, лазерними локаторами і відеокамерами. В даний час такі технології оснащення безпілотних засобів поки не широко застосовуються в Україні.

Для застосування безпілотної системи моніторингу необхідно вирішити цілий ряд питань як на законодавчому, так і на організаційно-технічному рівнях. Для коректної роботи систем моніторингу необхідно наявність інфраструктури, в тому числі сенсорів визначення швидкості, систем дистанційної передачі даних про дорожню ситуацію і т. д. Технічний результат – розширення функціональних можливостей системи за рахунок підвищення стійкості і точності процесів управління.

Рішення таких завдань пов'язано з розвитком алгоритмів і аналізом структур розподілених бортових систем, створенням математичних моделей для кількісної оцінки параметрів безпілотного об'єкта.

Розробка методів проектування адаптивних систем автоматичного керування безпілотними об'єктами, що змінюють параметри руху в залежності від впливів, що діють на об'єкт управління, вимагає вирішення ряду науково-технічних проблем, пов'язаних з розробкою принципів та алгоритмів керування в автоматичному режимі, аналізу і моделювання особливостей побудови і функціонування адаптивної системи автоматичного керування безпілотним об'єктом [7].

Широке застосування знайшли безпілотні літальні апарати (БПЛА), призначені для автоматизованого моніторингу розвідки, загального навколишнього середовища, поверхні і т. д.

Управління польотом БПЛА здійснюється дистанційно з наземного пункту по радіоканалу або з допомогою системи автоматичного управління (САУ). При використанні САУ в пам'ять бортової системи вводиться маршрут польоту, наприклад, у вигляді координат проміжних пунктів або координат цілі. Отже, для роботи в автоматичному режимі бортові обчислювачі повинні оснащуватися відповідними алгоритмами обробки і аналізу зображень для вирішення завдань стиснення відеоінформації і пошуку об'єктів.

Отже, метою нашої роботи є дослідження методів побудови систем автоматичного управління БПЛА.

Виклад основного матеріалу. Безпілотний літальний апарат (БПЛА або БЛА) – у загальному випадку це літальний апарат без екіпажу на борту. Спектр застосування БПЛА досить широкий - автоматичні літаки, вертольоти і дирижаблі здатні вести екологічну розвідку, моніторинг стану атмосфери, виконувати виміри температури, іонізуючого випромінювання, виробляти забори проб ґрунту з заражених територій і т.д. Шум від таких літальних апаратів набагато нижче, що особливо важливо при зйомці в житлових районах [2, с. 76].

Нові завдання, такі як ударні, транспортні, моніторинг протяжних лінійних об'єктів (ЛЕП, залізні дороги, трубопровідні системи) вимагають істотного збільшення крейсерської швидкості польоту і злітної маси БПЛА.

Зростання крейсерської швидкості необхідне для збільшення ефективності БПЛА як транспортної системи і зменшення часу реакції, а збільшення злітної маси є наслідком збільшення тривалості польоту і зростання номенклатури і маси корисного навантаження. Наприклад, рішення задачі надання повноцінних ударних можливостей для БПЛА RQ-1 Predator в кінцевому підсумку вимагало збільшення швидкості польоту літального апарату в 2 рази, злітної ваги в 4 рази, потужності силової установки в 9 разів і призвело до створення нового БПЛА MQ-9A Reaper (Predator B). Маса корисного навантаження при цьому було збільшено в 6 разів. Тривалість польоту і склад БРЕО не зазнали значних змін [1].

З ростом злітної маси і швидкості польоту основні технічні переваги БПЛА починають слабшати. Катапультні системи старту стають величезного розміру, різко збільшується їх складність та вимоги з технічного обслуговування.

Посадочні системи потребують виділення значних об'ємів планера і також стають надмірно складними і вимогливими до технічного обслуговування. При цьому надійність таких посадкових систем залишає бажати кращого. Складні системи м'якої посадки не забезпечують необхідного рівня збереження бортової електронної апаратури з планера БПЛА.

Для безпілотних літальних апаратів одним з найбільш важливих показником ефективності є його розміри. Оскільки для БПЛА важлива мобільність, використання габаритних систем навігації стає неможливим. З цією метою використовують MEMS системи. Але, не дивлячись на те, що такі системи надають достатню мобільність, вони не досить точні [4, с. 57].

Проблема точності може бути вирішена введенням до складу бортового обладнання системи навігації по орієнтирах.

Відомо, що система навігації за орієнтирами приймає на вхід сигнал у вигляді відбитої електромагнітної хвилі. Виходячи з цього, на вхід системи, що розробляється подаються параметри сигналу, а саме амплітуда сигналу, фаза, азимут та різницю у часі між відправленим та прийнятим сигналами.

Задача полягає у визначенні координат положення ЛА за вхідними параметрами системи.

Можна запропонувати нову структуру системи навігації за орієнтирами, яка містить радіолокаційне обладнання, комплекс обладнання для обробки прийнятого сигналу з радіолокатора (фазовий, амплітудний детектори, таймер), вимірювач азимуту.

Актуальним постає алгоритмічне забезпечення системи навігації за орієнтирами, яке базується на використанні радіолокатора з синтезованою апертурою та комплексу обладнання для обробки прийнятих сигналів, що дає можливість покращити точність такої системи.

Програмне забезпечення для системи навігації за орієнтирами складається з інтерфейсу, блоку імітації сигналів, бази даних, і забезпечує зменшення обчислювального навантаження на бортовий мікропроцесор.

Запропонована система навігації за орієнтирами може бути включена до навігаційного комплексу БПЛА і забезпечить покращення розв'язання навігаційної задачі.

Для забезпечення заданої вертикальної швидкості при наборі висоти польоту можна запропонувати використання системи автоматичного управління вертикальною швидкістю (САУ ВШ) [3, с. 44].

Вона може бути сформована на основі астатичних САУ для нормального перевантаження та інформації про вертикальну швидкість. При цьому задане значення нормального перевантаження можна формувати у вигляді:

$$\Delta n_{yz} = K_{\dot{H}}(\dot{H} - \dot{H}_z),$$

де \dot{H}_z – задане значення вертикальної швидкості,

K – коефіцієнт підсилення різниці заданого значення вертикальної швидкості і виміряної.

Значення вертикальної швидкості можна отримати з допомогою варіометра, інерціальної навігаційної системи (ІНС), супутникових систем (GPS, Глонасс).

Схема моделювання системи автоматичного керування вертикальною швидкістю наведена на рис.1

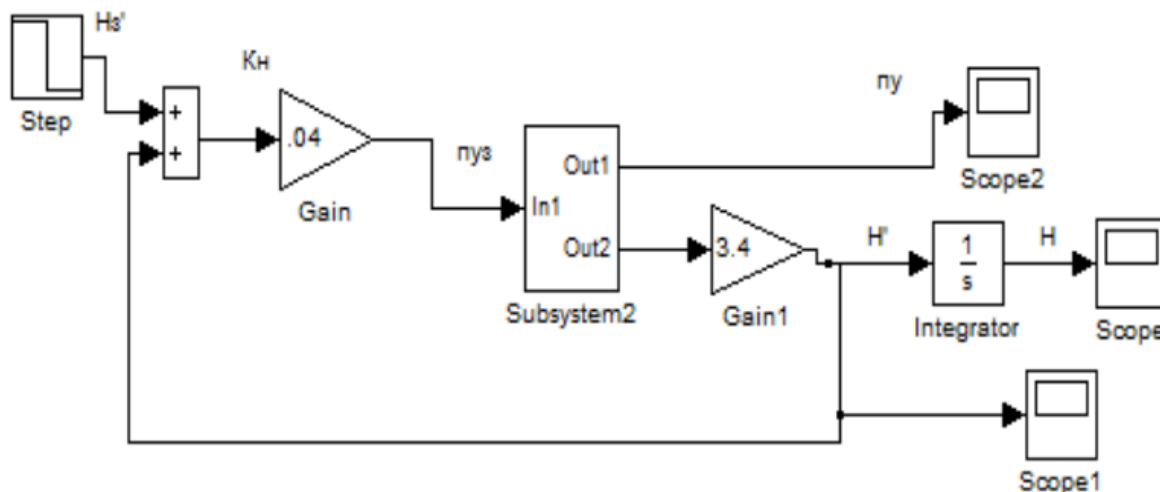


Рис. 1. Схема моделювання САУ ВШ [8]

Таким чином, сформована САУ ВШ забезпечить відсутність статичних помилок при постійних керуючих і збурюючих впливах, має задане значення перерегулювання 5% та забезпечує мінімальний час перехідного процесу, рівний 15 с.

Основними вимогами, які висуваються сьогодні до САУ БПЛА, є [3, 6-11]:

- низька вартість;
- мініатюризація (мінімізація маси та габаритних характеристик);
- зниження енергоспоживання;
- забезпечення автоматизованого виконання польоту БПЛА, стабілізації кутів орієнтації та слідування заданій траєкторії у всіх режимах управління на всіх етапах польоту, зокрема при злеті, наборі висоти, зниженні та приземленні;
- забезпечення можливості операторам дистанційно переходити від ручного до автоматичного режиму управління БПЛА (корисним навантаженням) та навпаки;
- програма автоматизованого управління БПЛА протягом його польоту може змінюватися персоналом наземного пункту управління;

- використання недорогих, комерційно доступних технічних засобів та обладнання, а також власного (українського) інноваційного програмного забезпечення;
- збільшення обсягу пам'яті центральної обчислювальної системи, необхідного для накопичення вимірювальної інформації;
- варіанти компоновки модулів корисного навантаження повинні гарантувати виконання завдань за призначенням у складних умовах експлуатації, зокрема при різких змінах температурних режимів; підвищення завадостійкості тощо.

Висновки. Як підсумок вищенаведеного зазначимо, що система автоматизованого управління польотом і корисним навантаженням БПЛА відіграє надзвичайно важливу роль у забезпеченні автономного (керованого) польоту безпілотного ЛА за визначеною траєкторією на заданій висоті із заданою швидкістю, виведення у визначений район і виконання поставлених завдань згідно з передпольотним планом та змінами до нього у процесі його реалізації. Також однією з основних функцій САУ є керування роботою корисного навантаження та передачею (поширенням) відповідної інформації на наземний пункт управління та до її споживачів. Вищезазначена система забезпечує можливість оператора керувати польотом БПЛА та його корисним навантаженням у ручному режимі зі стандартного пульта дистанційного управління, в автоматичному – за сигналами підсистем САУ та у напівавтоматичному – за командами оператора.

Література:

1. Мосов С.П. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: Монография. – К.: Изд. дом. “Румб”, 2008. – 160 с.
2. Артюшин Л.М., Мосов С.П. Застосування сил і засобів повітряної розвідки наземного противника у сучасних операціях і воєнних конфліктах / ТА. – 2000. – № 24. – С. 76-80.

3. Управление и наведение беспилотных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под редакцией М.Н. Красильщикова и Г.Г. Серебрякова. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 280 с.
4. Харченко О.В., Кулешин В.В., Коцуренко Ю.В. Класифікація та тенденції створення безпілотних літальних апаратів військового призначення // Наука і оборона, 2005. – №1. – С. 57-60.
5. U.S. Army Field Manual Interim (FMI) 3-04.155– Department of the Army. – Washington, DC, April, 183 p. <https://www.fas.org/irp/doddir/army/fmi3-04-155.pdf>.
6. Eyes of the Army. The Army Roadmap for UAS 2015- 2035. 140 p. <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas>.
7. M.L. Cummings,¹ S. Bruni, S. Mercier, and P.J. Mitchell. Automation Architecture for Single Operator, Multiple UAV Command and Control [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.dodccrp.org/files/>.
8. Kemaο Penga, Guowei Cai b, Ben M. Chenb,_, Miaobo Dongb, Kai Yew Luma,b, Tong H. Lee. Design and implementation of an autonomous flight control law for a UAV helicopter [Електронний ресурс] - Режим доступу: [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://vlab.ee.nus.edu.sg/>.
9. HaiYang Chao, YongCan Cao, and YangQuan Chen. Autopilots for Small Unmanned Aerial Vehicles: A Survey. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mechatronics.-ece.usu.edu/yqchen/>.
10. David H. Shim, H. Jin Kim, and Shankar Sastry. A Flight Control System for Aerial Robots: algorithms and experiments. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://robotics.eecs.berkeley.edu/>.
11. I.H. Johansen. Autopilot Design for Unmanned Aerial Vehicles. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.diva-portal.org/smash/>.