

<http://dx.doi.org/10.15589/evn20140312>

УДК 629.7

Б 13

STRUCTURE OF FLIGHT CONTROL AND MULTIFUNCTIONAL CONTROL AND MEASUREMENT EQUIPMENT SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

СТРУКТУРА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ І БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИМ КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Sergii V. Babak

Sergii.babak@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8805-1184

С. В. Бабак,

канд. екон. наук

SE «Scientific and technical center of emerging technologies of the National academy of sciences of Ukraine», Kyiv
ДП «Науково-технічний центр новітніх технологій Національної академії наук України», м. Київ

Abstract. Article analyzed perspective directions of creation of automated flight control systems and multifunctional control and measuring equipment for unmanned aerial vehicles, determination of their overall structure and basic objectives. Constructing structure of unmanned aerial complex, flight control methods are considered, including automated flight control systems. Article proposed ways of improving the accuracy of determining the unmanned aerial vehicle angular orientation based on different types of orientation systems combining. As perspective direction for automated flight control systems development the creation of «intellectual» avionics is proposed, that has software capable, in case of any system failure, to choose alternative control algorithms for flight continuation. Basing on conducted researches results the structure and functional schemes are proposed, that are forming a basis for new type of multifunctional diagnostic informational-measurement systems, that are implemented using unmanned aerial complexes.

Keywords: unmanned aerial complexes; unmanned aerial vehicles; automated flight control systems; payload.

Анотація. Розглянуто напрями створення систем автоматизованого управління польотом і багатофункціональним контрольно-вимірювальним обладнанням безпілотних літальних апаратів, визначення їх загальної структури та основних завдань. Перспективою розробки таких систем є створення «інтелектуальної» авіоніки, яка має програмне забезпечення, здатне при відмовах будь-яких систем вибирати альтернативні алгоритми управління для продовження польоту.

Ключові слова: безпілотний авіаційний комплекс; безпілотний літальний апарат; система автоматизованого управління польотом; корисне навантаження.

Аннотация. Рассмотрены направления создания систем автоматизированного управления полетом и многофункциональным контрольно-измеряемым оборудованием беспилотных летательных аппаратов, определения их общей структуры и основных задач. Перспективой разработки таких систем является создание «интеллектуальной» авионики, которая имеет программное обеспечение, способное при отказах любых систем выбирать альтернативные алгоритмы управления для продолжения полета.

Ключевые слова: беспилотный авиационный комплекс; беспилотный летательный аппарат; система автоматизированного управления полетом; полезная нагрузка.

REFERENCES

- [1] Babak S.V. Monitoring okružhayushey sredey AES s ispolzovaniem system videonablyudeniya i izmereniya moschnosti ekspozitsionnoy dozy na base bespilotnogo aviatsionnogo kompleksa [NPP environment monitoring using video surveillance systems and exposure dose measurement on unmanned aerial complex basis]. *Systemy obrabotki informatsii – Information processing systems*, 2015, no. 7, pp. 87–91.
- [2] Vavilova N.B., Golovan A.A., Parusnikov N.A., Trubnikov S.A. *Matematicheskiye modeli i algoritmy obrabotki izmereniy sputnikovoy navigatsionnoy sistemy GPS* [Mathematical models and algorithms of GPS satellite navigation system measurements processing. Standard mode]. Moscow, MGU Publ., 2001. 120 p.
- [3] Krasilschikov M.N., Serebryakov G.G. *Upravlenie i navedenie bespilotnykh letatelnykh apparatov na osnove sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy* [Control and guidance of unmanned aerial vehicles on a basis of modern information technologies]. Moscow, Phymathlit Publ., 2005. 280 p.

- [4] Raspopov V.Ya. *Microsistemnaya avionika* [Microsystems avionics]. Tula, Grif and Co. Publ, 2010. 248 p.
- [5] Chao H.Y. Autopilots for Small Unmanned Aerial Vehicles: A Survey. Available at: <http://mechatronics.-ece.usu.edu/yqchen>.
- [6] Cummings M.L. Automation Architecture for Single Operator, Multiple UAV Command and Control. Available at: <http://www.dodccrp.org/files>.
- [7] Johansen I.H. Autopilot Design for Unmanned Aerial Vehicles. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash>.
- [8] Shim D.H. A Flight Control System for Aerial Robots: algorithms and experiments. Available at: <http://robotics.eecs.berkeley.edu>.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Незважаючи на сучасні досягнення у сфері автоматизації, комп'ютеризації та створення робототехнічних систем, застосування безпілотних авіаційних комплексів (БАК) залишається не повністю автоматичним. Польоти безпілотних літальних апаратів (БПЛА) управляються і в найближчому майбутньому будуть управлятися людиною.

Існують різні способи управління БПЛА:

ручне управління оператором (або дистанційне пілотування) з дистанційного пульта управління в межах оптичної зони спостереження або по візуальній інформації, що надходить з відеокамери переднього огляду. При такому управлінні оператор насамперед вирішує операцію пілотування: підтримання потрібного курсу, висоти і т. д.;

автоматичне керування забезпечує можливість повністю автономного польоту БПЛА по заданій траєкторії на заданій висоті із заданою швидкістю і зі стабілізацією кутів орієнтації. Автоматичне управління здійснюється за допомогою бортових програмних пристроїв;

напіваавтоматичне управління (або дистанційне керування) – політ здійснюється автоматично без втручання людини з допомогою автопілота за спочатку заданими параметрами, але при цьому оператор може вносити зміни в маршрут в інтерактивному режимі. Таким чином, оператор має можливість впливати на результат функціонування, не відволікаючись на завдання пілотування.

Ручне керування може бути одним з режимів для БПЛА, а може бути єдиним способом управління. Безпілотні літальні апарати, позбавлені будь-яких засобів автоматичного управління польотом радіокеровані авіамоделі не можуть розглядатися як платформи для виконання серйозних цільових завдань. Останні два способи в даний час є найбільш затребуваними з боку експлуатантів безпілотних систем, тому що висувають найменші вимоги до підготовки персоналу і забезпечують безпечну та ефективну експлуатацію систем безпілотних літальних апаратів.

Повністю автоматичне управління може бути оптимальним рішенням для завдань аерофотозйомки заданої ділянки, коли потрібно знімати на великому видаленні від місця базування поза контактом з наземною станцією. У той же час, оскільки за політ

відповідає особа, яка здійснює запуск, то можливість впливати на політ з наземної станції може допомогти уникнути позаштатних ситуацій.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз складу та призначення бортового обладнання сучасних безпілотних авіаційних комплексів [2, 4, 7, 8] свідчить, що їх ефективне застосування значною мірою залежить від функціональних можливостей автоматизованих систем управління польотом БАК та його корисного навантаження у вигляді, як правило, багатофункціонального контрольно-вимірювального обладнання. Досвід застосування БАК при ліквідації аварії на АЕС «Фукусіма 1» в Японії змушує звернути увагу на роль і місце систем автоматизованого управління польотом (САУП) і додаткових комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем у виконанні завдань, які покладаються на дані комплекси при контролі довкілля АЕС і ТЕС, особливо в умовах можливих техногенних аварій.

МЕТОЮ СТАТТІ є аналіз перспективних напрямів створення систем автоматизованого управління польотом і багатофункціональним контрольно-вимірювальним обладнанням безпілотних літальних апаратів, визначення їх загальної структури та основних завдань. На основі результатів проведеного аналізу – розробка структурно-функціональної схеми управління польотом БАК і роботою контрольно-вимірювальної апаратури, що на ньому встановлена.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Як правило, комплекс моніторингу на базі БПЛА [1] спочатку розробляється як цілісна система безпілотного авіаційного комплексу, що складається з ряду підсистем (рис. 1) і включає в себе: станцію управління, в якій розташоване робоче місце оператора і програмні додатки, що забезпечують контроль оператором роботи комплексу; БПЛА, що несе апаратуру корисного навантаження різного типу; систему зв'язку, яка забезпечує передачу керуючих команд зі станції управління на борт БПЛА, а також передачу корисної інформації з борту БПЛА на наземну станцію управління в режимі реального часу; додаткове обладнання, призначене для технічної

підтримки досліджень, що проводяться (наприклад, комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система (КІВС) зі змінними сенсорами).

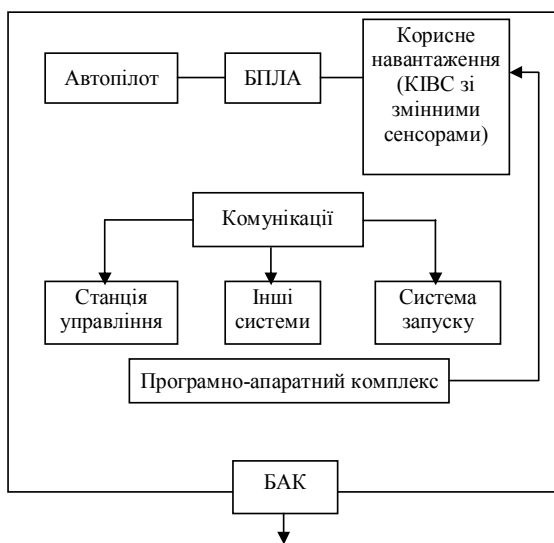


Рис. 1. Структура комплексу моніторингу на базі БПЛА

Безпілотні літальні апарати мають великий ступінь автоматизації штучного інтелекту. Вони мають можливість «спілкування» з оператором, який знаходиться на наземній станції управління, і можуть передавати на неї дані, такі, як оптичні або тепловізійні зображення місцевості, разом з первинною інформацією про стан БПЛА – висота, курс, швидкість, крен і т. д.

Авіоніка БПЛА – комплекс апаратно-програмних засобів, розташованих на його борту, тобто бортова апаратура управління, яка забезпечує всі режими польоту та виконання функціональної задачі. Авіоніка має радіоканал зв'язку з наземною апаратурою управління (НАУ). Безпілотні літальні апарати як об'єкт

управління, рульові приводи органів управління, БАК і НАУ утворюють систему автоматичного управління польотом САУП (рис. 2).

Бортова і наземна апаратура управління повинна забезпечити наступні режими польоту БПЛА: зліт і посадку в автоматичному режимі (можливі також ручний режим зльоту і посадки з управлінням по радіоканалу оператором); політ у напівавтоматичному режимі з управлінням по радіоканалу з коригуванням дій оператора бортовою апаратурою управління (БАУ); політ в автоматичному режимі по контрольних точках з одночасною посилкою телеметрії на наземну апаратуру управління.

У ручному режимі оператор, візуально оцінюючи поведінку (стан) БПЛА, з допомогою НАУ відхиляє органи управління (кермо, органи управління двигуном), що приводяться в рух рульовими машинками (РМ). Напівавтоматичний режим можливий у радіусі дії радіоканалу, який для малорозмірних БПЛА без застосування спеціальних радіоантенних засобів знаходиться в межах 2500 м.

Напівавтоматичний режим управління (пілотування) у даному разі здійснюється за допомогою інформації про просторове положення БПЛА, яка приходить по радіоканалу і відображається на віртуальній приладовій панелі НАУ. Дії оператора в цьому режимі управління коригуються САУП, яка виконує функції автопілота, що не допускає потенційно небезпечних параметрів руху БПЛА.

У напівавтоматичному режимі БАУ БПЛА забезпечує два інформаційних потоки через радіоканал:

- від блоку ручного управління до пристрою управління автопілота;
- від сенсорів і системи орієнтації через модуль «навігатор», інтерфейс телеметрії на пристрій візуалізації параметрів польоту.

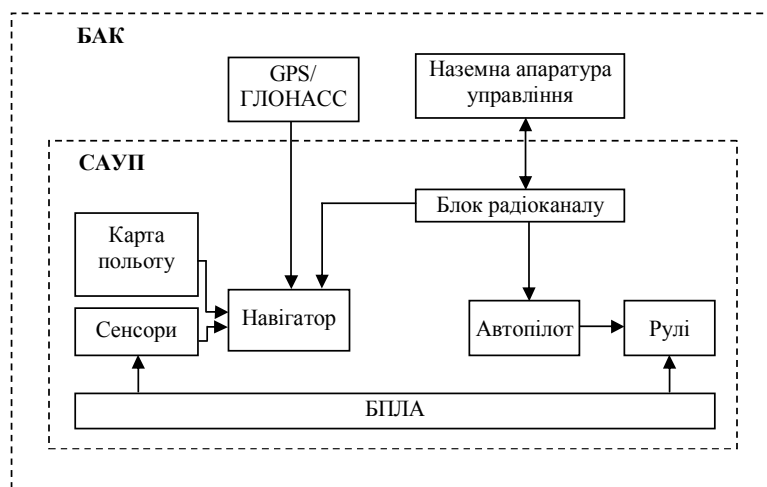


Рис. 2. Схема системи управління польотом у складі БАК

У напівавтоматичному режимі польоту БПЛА модуль автопілота здійснює контроль за командами НАУ:

– отримує по радіоканалу команду від НАУ;

– отримує поточну інформацію про кутові орієнтації БПЛА і кутові швидкості по двох осях (кут крену і кут тангажа) від системи орієнтації. При цьому використовуються комплексування систем орієнтації. Якщо БПЛА орієнтований у горизонтальній площині в межах заданих значень кутів і кутових швидкостей по всіх трьох осях, то команда передається на РМ, в іншому випадку на РМ передається команда стабілізації режиму горизонтального польоту, яка формується алгоритмом автопілота.

Автоматичний режим – це забезпечення польоту по задалегідь заданому за допомогою контрольних точок маршруту. У даному режимі можлива відсутність радіозв'язку БАК з апаратурою управління і зв'язку. Він включається автоматично при виході БПЛА із зони видимості радіоканалу.

При цьому команди від блоку управління ігноруються. У цьому режимі польоту за показаннями систем орієнтації і навігації та сенсорів здійснюється автоматичне керування висотою і швидкістю польоту, курсом, можливе також управління відхиленням від заданої траєкторії.

В автоматичному режимі польоту управління здійснюється за принципом «наведення–стабілізація». Модуль навігатора вирішує завдання наведення, тобто виробляє команду наведення (включає необхідний напрямок польоту і поточний напрямок польоту, обчислений за сигналами систем орієнтації, навігації та датчиків), яка транслюється «Автопілоту». Модуль «Автопілот» вирішує задачу стабілізації, тобто обробки команди наведення і забезпечення стійкості руху шляхом вироблення команд управління РМ алгоритмом автопілота. У разі перевищення заданих порогів (по кутах і кутових швидкостях) подається команда стабілізації режиму горизонтального польоту, що виробляється алгоритмом автопілота, як і у випадку напівавтоматичного управління. В автоматичному режимі на модуль навігатора лягає завдання періодично перевіряти наявність зв'язку по радіоканалу. У разі її наявності модуль «Навігатор» посилає дані телеметрії на землю. Основні функції САУП БПЛА в напівавтоматичному і автоматичному режимах виконує автопілот, який реалізує закони управління каналами тангажа, ризику і крену.

Повністю автоматичне управління БПЛА можливе при наявності відповідної умовам точності пілотування інформації про поточний стан БПЛА в просторі (включаючи і кутовий), а також інформації про заданий рух БПЛА. Траєкторне управління БПЛА різного призначення може бути командним (за командами, які надходять ззовні), програмним (траєкторія сформована і задається на борту у вигляді часових

залежностей), адаптивним термінальним, при якому управління здійснюється для досягнення кінцевого результату (при цьому можна виконувати ряд обмежень).

Крім траєкторного керування, як правило, здійснюються кутова стабілізація і керування кутовим положенням БПЛА. Найважливішими завданнями при створенні такого управління БПЛА є: забезпечення стійкості руху на всіх режимах польоту з урахуванням можливих збурень, відхилень вихідних даних; досягнення точності реалізації цільового призначення ЛА; забезпечення живучості управління при заданих відмовах, викликаних зовнішнім впливом у системі управління.

При польоті в автоматичному режимі БПЛА повинен літати на малих висотах з оглядом рельєфу місцевості. При цьому повинна бути забезпечена точність підтримки висоти в межах трьох метрів. Створення інтелектуальної системи автоматичного керування БПЛА, ядром якої є бортова апаратура управління (Авіоніка), можливе тільки при використанні в системі управління (як системи для оцінки стану БПЛА) інтегрованої системи орієнтації і налаштування коефіцієнтів автопілота на конкретні режими польоту БПЛА. Так, повинні бути передбачені варіанти виходу з критичних режимів польоту, наприклад з критичного крену, який може виникнути внаслідок пориву вітру при здійсненні маневру з розвороту.

Основна мета комплексування (об'єднання) систем орієнтації і навігації полягає в підвищенні точності визначення навігаційних і кутових параметрів орієнтації БПЛА. Об'єднуватися можуть не тільки системи, але й окремі датчики первинної інформації (датчики тиску, магніторезистори, акселерометри і т. д.), що виробляють одні і ті ж параметри. При об'єднанні декількох навігаційних вимірників найбільш широке застосування отримали дві схеми комплексування, відомі як спосіб компенсації та фільтрації [1].

Для підвищення точності визначення кутової орієнтації БПЛА можливе комплексування (об'єднання) систем орієнтації різного типу. На рис. 3 наведено блок-схему об'єднання модуля тривісного магнітометра, пірогоризонта і модуля супутникової навігаційної системи (СНС) GPS/ГЛОНАСС. Тривісний магнітометр виробляє по кожному каналу нормовані показання X , Y , Z . Пірогоризонт визначає кути тангажа ϑ_n і крену γ_n . Модуль GPS/ГЛОНАСС приймає сигнали супутникової навігаційної системи і передає в блок розрахунку кутів орієнтації значення географічних координат φ , λ , шляхового кута ψ та кутів магнітного схилу D і нахилу I . На підставі визначених пірометричними датчиками кутів тангажа і крену у блоці розрахунку обчислюється кут курсу. Таким чином, є значення кутів курсу, обчислені за показаннями пірометрів

і магнітних датчиків, і курс, який видається модулем GPS. Це дозволяє реалізувати фільтр Калмана для оцінки систематичних помилок магнітних датчиків. Такий спосіб комплексування підвищує точ-

ність визначення кутів тангажа і крену та усуває помилки, пов'язані з наявністю залишкових некомпенсованих магнітних завод, і помилку, обумовлену кутом ковзання БПЛА.

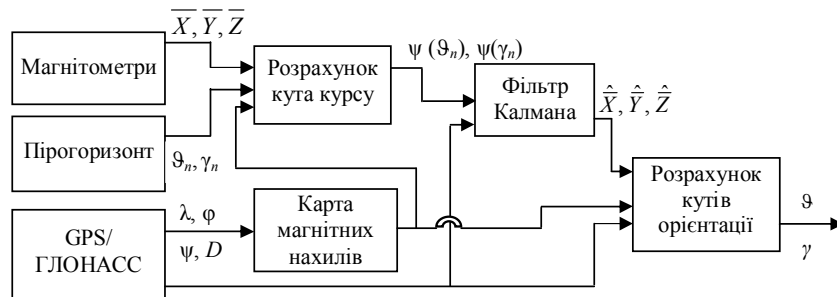


Рис. 3. Блок-схема комплексування модуля магнітометрів, пірогоризонта і модуля GPS/ГЛОНАСС

Використання методів оптимальної фільтрації Калмана передбачає, що параметри стохастичного описання збурень і похибок вимірювань відомі точно. На практиці, у випадку невизначеності параметрів, налаштування фільтра проводиться на апріорній моделі збурень і помилок вимірювань, що призводить до додаткових втрат у точності оцінювання. У цьому випадку коваріаційна матриця не є оцінкою точності вектора стану, тобто фільтр неправильно формує точнісну характеристику (коваріацію помилки оцінювання) разом з оцінкою вектора стану. Для підвищення точності вектора стану, разом з фільтрацією Калмана розроблено алгоритм нейромережевої апроксимації довільної щільності розподілу ймовірності. Нейромережі можуть навчатися на реальних вимірах, а не на моделі похибок, що дозволяє обійти невизначеності моделі.

Виконання зазначених вище функцій забезпечується використанням змінного корисного навантаження модульної побудови, яке встановлюється на внутрішній та/або зовнішній підвісках БПЛА. По суті, безпілотний БПЛА – це авіаційна платформа для транспортування корисного навантаження, яке може включати в себе [1, 5–7]: сенсори (датчики) збору інформації, у т.ч. фото-, теле-, тепловізійні та мультиспектральні камери (EO/IR); лазерні сканери і далекоміри (LRF/LD); РЛС із синтезованою апаратурою (SAR); обладнання для ретрансляції зв'язку; багатофункціональну комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему тощо.

При визначенні (виборі) варіантів компоновки модулів корисного навантаження враховуються їх технічні характеристики, переваги і недоліки, а також умови виконання польотних, контрольно-вимірювальних або інших завдань за призначенням (погода, місцевість, час доби і пора року та інші фактори).

Як підсумок наведеного зазначимо, що САУП і корисні навантаження БПЛА відіграють надзвичайно важливу роль у забезпеченні автономного (керованого) польоту БПЛА 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 САУП є керування роботою корисного навантаження та передачею (поширенням) відповідної інформації на наземний пункт управління та до її споживачів. Зазначена система забезпечує можливість оператора керувати польотом БПЛА та його корисним навантаженням у ручному режимі зі стандартного пульта дистанційного управління, в автоматичному – за сигналами підсистем САУП та у напівавтоматичному – за командами оператора. Система автоматичного управління польотом АУП БПЛА є складною, багаторівневою комплексною системою, яка включає в себе бортовий обчислювальний комплекс; навігаційний комплекс; систему управління польотом БПЛА; систему зв'язку; апаратуру інформаційного обміну та інші складові, необхідні для функціонування БПЛА (рис. 4).

Бортовий обчислювальний комплекс – це сукупність інформаційно взаємопов'язаних апаратно-програмних засобів передачі, зберігання і переробки інформації, які призначені для перетворення вхідних даних у вихідні, збору та обробки інформації вимірювальних підсистем комплексу відповідно до визначених завдань функціонування. Архітектура сучасних БОК являє собою багаторівневу, ієрархічну та неоднорідну обчислювальну систему. На нижньому рівні ієрархії використовуються спеціалізовані обчислювачі, які забезпечують первинну обробку інформації від одного або групи однорідних датчиків. На середньому рівні ієрархії застосовуються більш потужні універсальні цифрові системи, які вирішують основні функціональні завдання на основі комплексної обробки інформації від датчиків. На верхньому рівні ієрархії використовуються, як правило, універсальні цифрові системи, які призначені для вирішення завдань управління, контролю, індикації та зв'язку.

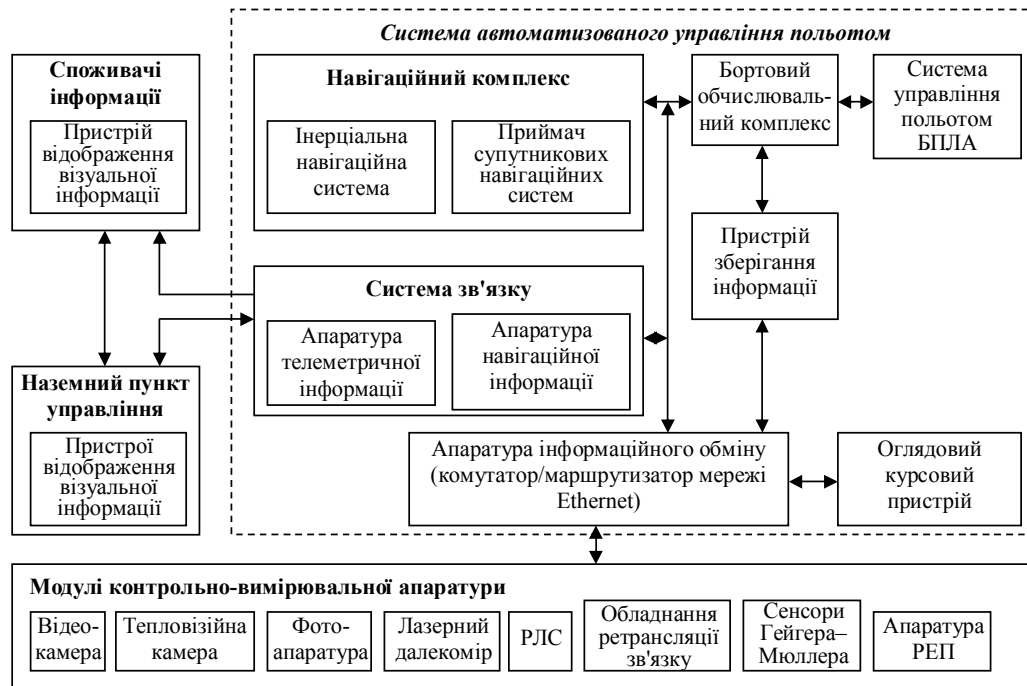


Рис. 4. Структура системи управління польотом і багатофункціонального контрольно-вимірвального обладнання БПЛА

Бортний обчислювальний комплекс повинен вирішувати завдання навігації, орієнтації і векторної гравіметрії, оптимальної оцінки різних параметрів та їх корекції, а також завдання опитування датчиків і систем, запису масивів вихідної інформації в пам'ять, забезпечення функціонування системи індикації і контролю стану периферійних пристроїв, самоконтролю тощо. Сьогодні значного поширення набув підхід до побудови малорозмірних бортних обчислювальних комплексів на основі застосування мікроконтролерів, що функціонують під управлінням операційних систем реального часу.

Навігаційний комплекс БПЛА є інтегрованою системою, яка здійснює обробку навігаційної інформації, що надходить від інерційної системи (ІНС, інерційна компонента) та приймача супутникової радіонавігаційної системи (СРНС, супутникова компонента). Ключовим елементом САУ щодо забезпечення автономності її функціонування є інерційна компонента. Це, як правило, безплатформна інерційна навігаційна система (БІНС) [5–7], яка виконує функцію визначення положення БПЛА у просторі і має у своєму складі інерційні датчики, барометричний висотомір та тривісний магнітометр, і після порівняння даних від зазначених датчиків з даними приймача СРНС система виробляє повне навігаційне рішення за координатами і кутами орієнтації. Супутникова компонента забезпечує визначення координат БПЛА та об'єктів розвідки за сигналами глобальної супутникової навігаційної системи (GPS/ГЛОНАСС), а також визначення курсового кута БПЛА.

Система зв'язку призначена для забезпечення стійкого зв'язку між персоналом наземного пункту управління та споживачами інформації з БПЛА.

Основними елементами системи зв'язку БПЛА є наступні:

апаратура телеметричної інформації (передавач і антенно-фідерний пристрій), яка призначена для передачі телеметричної інформації у реальному масштабі часу на наземний пункт управління та розповсюдження її у межах радіовидимості;

апаратура командно-навігаційної інформації (приймач і антенно-фідерний пристрій), призначена для приймання команд керування польотом БПЛА і його корисним навантаженням. Для підтримання зв'язку на значних відстанях і підвищення завадозахищеності як на БПЛА, так і на наземному пункті управління, використовуються гостронаправлені антенні системи;

апаратура інформаційного обміну, яка забезпечує комутацію, проходження та маршрутизацію інформаційних потоків між складовими й елементами бортового і цільового обладнання БАК, у т.ч. розподіл інформації між бортовими датчиками збору інформації, передавачем відеоінформації і пристроєм її зберігання. Ввід польотного завдання і передстартовий контроль функціонування основних вузлів і систем БПЛА здійснюються перед його злетом через зовнішній порт даної апаратури;

пристрій зберігання інформації – призначений для накопичування інформації з моменту злету і до моменту приземлення БПЛА. Цей пристрій може

бути знімним або вбудованим. Інформація, яка зчитується з нього, дозволяє проводити більш детальний аналіз інформації, що отримується датчиками БПЛА під час виконання польотних завдань;

оглядовий курсовий пристрій, який призначений для візуального контролю процесу управління польотом БПЛА і забезпечує необхідну зону охоплення місцевості, над якою він пролітає. Інформація, яка отримується від оглядового курсового пристрою, передається оператору БПЛА (оператору корисного навантаження) та використовується для керування польотом літального апарата та роботою багатофункціонального контрольно-вимірювального обладнання. До складу оглядового курсового пристрою входить телевізійна камера з ширококутовим об'єктивом, яка у залежності від завдань може бути замінена або доповнена тепловізійною камерою, цифровим фотоапаратом чи РЛС.

Основними вимогами, які висуваються до САУП БПЛА, є [5, 7, 8]: невисока вартість; мініатюризація (мінімізація маси та габаритних характеристик); зниження енергоспоживання; забезпечення автоматизованого виконання польоту БПЛА, стабілізації кутів орієнтації та слідування заданих траєкторій 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 навіпаки; програма автоматизованого управління БПЛА

протягом його польоту може змінюватися персоналом наземного пункту управління; використання недорогих, комерційно доступних технічних засобів та обладнання, а також власного 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

Одним з пріоритетних завдань при створенні перспективних БАК слід вважати розробку більш досконалих систем автоматизованого управління, які покращать безпеку польотів, зменшать втрати БПЛА та забезпечать ефективне застосування їх корисного навантаження.

Перспективним напрямком розробки САУП БПЛА є створення «інтелектуальної» авіоники, яка має програмне забезпечення, здатне при відмовах будь-яких систем вибирати альтернативні алгоритми управління для продовження польоту.

Запропоновані структурно-функціональні схеми покладені в основу нового типу багатофункціональних діагностичних інформаційно-вимірювальних систем, що реалізуються за допомогою безпілотних авіаційних комплексів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] **Бабак, С. В.** Мониторинг окружающей среды АЭС с использованием систем видеонаблюдения и измерения мощности экспозиционной дозы на базе беспилотного авиационного комплекса [Текст] / С. В. Бабак // Системы обработки информации. – 2015. – № 7. – С. 87–91.
- [2] **Вавилова, Н. Б.** Математические модели и алгоритмы обработки измерений спутниковой навигационной системы GPS. Стандартный режим [Текст] / Н. Б. Вавилова, А. А. Голован, Н. А. Парусников, С. А. Трубников. – М. : МГУ, 2001. – 120 с.
- [3] **Красильщиков, М. Н.** Управление и наведение беспилотных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий [Текст] / под ред. М. Н. Красильщикова, Г. Г. Серебрякова. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 280 с.
- [4] **Распопов, В. Я.** Микросистемная авионика [Текст] / В. Я. Распопов. – Тула : «Гриф и К», 2010. – 248 с.
- [5] **Chao, H. Y.** Autopilots for Small Unmanned Aerial Vehicles: A Survey [Електронний ресурс] / H. Y. Chao, Y. C. Cao, Y. Q. Chen. – Режим доступу: <http://mechatronics-ece.usu.edu/yqchen>.
- [6] **Cummings, M. L.** Automation Architecture for Single Operator, Multiple UAV Command and Control [Електронний ресурс] / M. L. Cummings, I. S. Bruni, S. Mercier, and P. J. Mitchell. – Режим доступу: <http://www.dodccrp.org/files>.
- [7] **Johansen, I. H.** Autopilot Design for Unmanned Aerial Vehicles [Електронний ресурс] / I. H. Johansen. – Режим доступу: <http://www.diva-portal.org/smash>.
- [8] **Shim, D. H.** A Flight Control System for Aerial Robots: algorithms and experiments [Електронний ресурс] / D. H. Shim, H. J. Kim, S. Sastry. – Режим доступу: <http://robotics.eecs.berkeley.edu>.

© С. В. Бабак

Надійшла до редколегії 12.11.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК д-р техн. наук, проф. Б. М. Гордєєв

Статтю розміщено у Віснику НУК № 3, 2014