

МЕТРОЛОГІЯ, ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

METROLOGICAL MONITORING SUPPORT WITH THE USE OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLES

Микийчук М. М., д-р техн. наук, проф., Зіганшин Н. С., аспірант

Національний університет «Львівська політехніка», Україна; e-mail:natalia1994128@gmail.com

М. Mykyuchuk, Dr. Sc., Prof., N. Zihanshyn, PhD student

Lviv Polytechnic National University, Ukraine; e-mail:natalia1994128@gmail.com

<https://doi.org/>

Анотація. Використання сучасних технологій для стандартизації робіт, пов'язаних із моніторингом навколишнього середовища, технологічних процесів, міських та сільських інфраструктур, потребує цілої системи метрологічного нагляду. За допомогою відповідного електронного обладнання можна визначити рівень забруднення атмосфери і проводити наукові дослідження. Аеромоніторинг здійснюють спеціалісти, керуючи дронами на висоті до 500 метрів і в радіусі до півтора кілометра. Точність результатів забезпечується передовими технологіями проведення метеорологічних вимірювань. Для використання дронів під час проведення діагностики необхідно вирішити низку технічних завдань за методологією використання такого обладнання та завдань функціонування дронів, а саме: висоти отримання зображень, номінального діапазону швидкостей переміщення дронів для отримання зображення, номінальні кути одержання зображення рослинних насаджень, час експозиції зображення, величина корекції експозиції зображення.

У роботі розглянуто історію виникнення, правові аспекти використання, основні види безпілотних літальних апаратів та ознаки, за якими їх класифікують, їхнє апаратне та програмне забезпечення; здійснено огляд продукції виробників БПЛА; проаналізовано структуру безпілотної авіаційної системи, тенденції її розвитку та функції її окремих вузлів; висвітлено основні проблеми забезпечення надійності роботи каналів зв'язку та гарантування безпеки польотів із використанням віртуальної системи контролю. На основі проведеного аналізу запропоновано заходи щодо метрологічного забезпечення безпілотних літальних апаратів та рекомендації щодо проведення відео- та фотознімання із використанням навігаційного обладнання.

Ключові слова: класифікація, безпілотні літальні апарати, метрологічне забезпечення.

Ключові слова: The use of state-of-the-art technologies for the standardization of work related to environmental monitoring, technological processes, urban and rural infrastructures requires an entire system of metrological supervision. The drone is an unmanned aerial vehicle. The purpose of such systems of autonomous action, intended for flight and their performance of some operations can be potentially dangerous to humans. With the use of appropriate electronic equipment one can determine the level of air pollution and conduct the research. Aero monitoring is carried out by specialists, managing drones at an altitude of up to 500 meters and within a radius of one and a half kilometers. The precision of the results is provided by the advanced technologies of meteorological measurements. To use drones during diagnostics, it is necessary to solve technical problems related to the methodology of this equipment application as well as the drones application. These are the determination and setting the height of obtaining images, the nominal range of moving speeds of drones for obtaining images, the nominal angles of obtaining images of plantations, the time of exposure of the image, the magnitude of image exposure correction.

This paper examines the history of creation, the legal aspects of use, the main types of unmanned aerial vehicles and their classification characteristics, their hardware and software, and an overview of the unmanned aerial vehicles manufacturers. The structure of the unmanned aviation system, the functions of its individual units and development trends are also analyzed. The main problems of ensuring the communication channels reliability and ensuring flight safety using the control system virtualization are set out. Based on the conducted analysis it is proposed to provide metrological support for unmanned aerial vehicles and recommendations for video and photography using navigation equipment.

Key words: Classification, Unmanned Aerial Vehicles, Metrological Support.

Вступ

Згідно з визначенням, схваленим Асамблеєю Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО), «безпілотний літальний апарат (БПЛА, англ. *Unmanned aerial vehicle*, скор. UAV) являє собою повіт-

ряне судно без пілота [2], яке виконує політ без командира повітряного судна на борту і або повністю дистанційно управляється з іншого місця з землі з борта іншого повітряного судна, з космосу, або запрограмовано і повністю автономно». Використо-

вуться й інше позначення цих пристроїв – дрон (англ. *drone* – трутень).

Датою появи прототипу безпілотного літального апарата можна вважати 1910 р., коли винахідник Чарльз Кеттерінг запропонував створити літальний апарат під керуванням годинникового механізму. У певний час він повинен був скинути крила і впасти на ворогів. Ідея зацікавила американців – вони почали фінансувати розробки інженера. Перші тестові польоти пройшли успішно, але надалі їх проект не використовували.

У 1933 р. британські інженери створили перший безпілотник з дистанційним управлінням. Це був апарат багаторазового використання, використовувався як мішень для підготовки пілотів і зенітників. Після закінчення Другої світової війни безпілотники активно використовували у військово-розвідувальних комплексах США і Радянського Союзу. Цивільні дрони з'явилися тільки в 2000-х. Вони технічно відрізняються від військових безпілотників, вважаються технологічнішими завдяки невеликим обсягам виробництва і вузькій спеціалізації.

Пріоритетними галузями для впровадження рішень на базі дронів є сільське господарство, екстрені служби, енергетика та видобуток корисних копалин, будівництво, геодезія, страхування, транспорт, державні та муніципальні служби, ЗМІ та медіа, природоохоронні організації, наука та освіта, зв'язок, фото-та відеознімання, спорт і розваги.

Недоліки

Безпілотні літальні апарати важко класифікувати, оскільки їхні характеристики дуже різні. Ця різноманітність зумовлена великою кількістю конфігурацій і компонентів БПЛА. Виробники поки не обмежені ніякими стандартами. В результаті сьогодні відсутні вимоги з боку авіаційних регуляторів щодо оснащення БПЛА. БПЛА – складні об'єкти, що охоплюють різні галузі знань, до яких належать авіоніка, телекомунікація, програмне забезпечення, геолокація, механіка тощо. Тому необхідний системний підхід до питання метрологічного забезпечення під час розроблення взаємопов'язаних процесів, об'єднаних метою досягнення необхідної якості вимірювань.

Мета роботи

Мета роботи – застосування метрологічних норм, правил і методик виконання вимірювань для забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань для безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

1. Класифікація та забезпечення

Використання БПЛА має низку переваг, таких як утримання і технічне обслуговування, що

обходиться дешевше порівняно з аналогічними витратами на пілотовану авіацію. Адже літаки і вертольоти потребують підтримки систем безпеки і захисту пілотів. Фахівці, що керують літаками і вертольотами й обслуговують їх, повинні проходити навчання, перенавчання, лікарську комісію. Часові та фінансові витрати на безпілотники незрівнянно нижчі.

Вагомою перевагою безпілотників є їхня прохідність і транспортна доступність: вони долетять до тих земельних ділянок, куди добратися по суходолу або на літаку проблематично. Швидкість доставки вантажів теж більша: безпілотник долітає до віддаленої земельної ділянки за 30 хвилин, а вертоліт – за 2 години. Для пілотованих літаків важлива наявність величезного майданчика для зльоту і посадки, тоді як для приземлення безпілотників досить смуги 500–600 метрів, а мініатюрні дрони легко приземляться навіть на сходинки біля порога.

БПЛА економно витрачають паливо завдяки компактним габаритам, що також є перевагою.

Але розвитку індустрії БПЛА перешкоджають певні обмеження і бар'єри, як правові, так і технічні, які істотно впливають на їх впровадження як в окремих країнах, так і в світі загалом. До них належать правові: втручання дронів у приватне життя і комерційну таємницю. Використовуючи навіть споживчий дрон, можна без проблем залетіти на приватну територію для фото-і відеознімання, зокрема з використанням нічного бачення, тепловізорів та інших сенсорів, що може безпосередньо порушувати принципи невтручання в приватне життя і комерційну таємницю. Необхідно досягти компромісу між потребою приватних споживачів, бізнесу і держави. Експоненціальне зростання кількості проданих пристроїв і їх неліцензованої експлуатації може створити загрозу для функціонування громадських послуг і для національної безпеки. Дрони можуть використовуватися не за призначенням: з метою крадіжки, контрабанди, транспортування заборонених речовин. І часто визначити, яку місію виконує дрон, що перебуває поблизу, неможливо до моменту її здійснення. Крім того, існує небезпека створення проблем для інших учасників повітряного руху, а також транспортних засобів, інфраструктури та людей на землі. Відомі прецеденти зламу дронів, що призводить до того, що дрон перехоплюють і здобувають контроль за ним інші особи. Для зниження розглянутих ризиків у деяких країнах введена вимога обов'язкового страхування комерційних БПЛА.

1.1. Класифікація БПЛА. Умовно всі дрони можна поділити на чотири групи [3]:

- Мікро. Такі БПЛА важать менше ніж 10 кг, максимальний час перебування в повітрі – 60 хвилин. Висота польоту – 1 кілометр, що відповідає американській класифікації – *Class I Unmanned Aerial Vehicle*.

- Міні. Вага цих апаратів досягає 50 кг, час перебування у повітрі – 5 годин. Висота польоту варіюється від 3 до 5 кілометрів (*Class II Unmanned Aerial Vehicle*).

- Міді. Безпілотні літальні апарати вагою до 1 тонни, розраховані на 15 годин польоту. Такі БПЛА піднімаються на висоту до 10 кілометрів (*Class III Unmanned Aerial Vehicle*).

- Важкі безпілотники. Їх вага перевищує тонну, розроблені апарати для далеких польотів тривалістю понад добу. Можуть переміщатися на висоті 20 кілометрів.

Розглянемо особливості класифікації безпілотників (*Class IV Unmanned Aerial Vehicle*).

До безпілотної авіації належать не тільки літальні апарати, але й системи забезпечення. Для виконання поставлених завдань БПЛА повинен розглядатися разом з приладами, якими він оснащений, і корисним навантаженням. Для цього введено термін «безпілотно авіаційна система» (БАС). До складу БАС входять: БПЛА, бортовий комплекс управління, корисне навантаження і станція управління.

1. Бортовий комплекс містить інтегровану навігаційну систему, пристрій супутникової навігаційної системи, автопілот, накопичувач польотної інформації.

2. До корисного навантаження для спеціалізованих задач може належати цифрова фотокамера, як доповнення іноді використовують відеокамеру, тепловізор, ІК-камеру тощо.

3. Пункт наземного управління складається із системи стеження за польотом, передавання команд управління, приймання даних до інфокомунікаційних мереж.

Автопілот виконує пілотування, автоматичний політ за заданим маршрутом, забезпечує автоматичний зліт і посадку, підтримує задану висоту і швидкість польоту, стабілізує кути орієнтації, здійснює примусову посадку у разі відмови двигунів або виникнення інших значних несправностей, програмне управління бортовими системами і корисним навантаженням, наприклад, стабілізація відеокамери і синхронізація із часом та координатами спрацьовування затвора фотокамери чи випускання парашута.

Класифікація БПЛА за технічними характеристиками наведена на рис. 1 і вказує на тип, льотні характеристики та спосіб обміну інформації БПЛА [2].

Завдяки застосуванню нових аеродинамічних рішень, легких конструкцій із композиційних матеріалів, а також високоекономічних двигунів висотні та середньовисотні БПЛА порівняно з попередниками мають у 3–10 разів меншу злітну масу за значно більшої тривалості польоту, що становить десятки годин. За порівняльної оцінки висотних БЛА з апаратами, що діють на середніх висотах, незважаючи на вищу вартість, висотні апарати мають значні переваги, а саме:

- більша дальність прямої видимості, у межах якої може працювати апаратура моніторингу і засоби зв'язку;

- менша ймовірність льотних пригод за рахунок меншої кількості зльотів і посадок, під час яких, за статистикою, відбувається найбільше аварій.

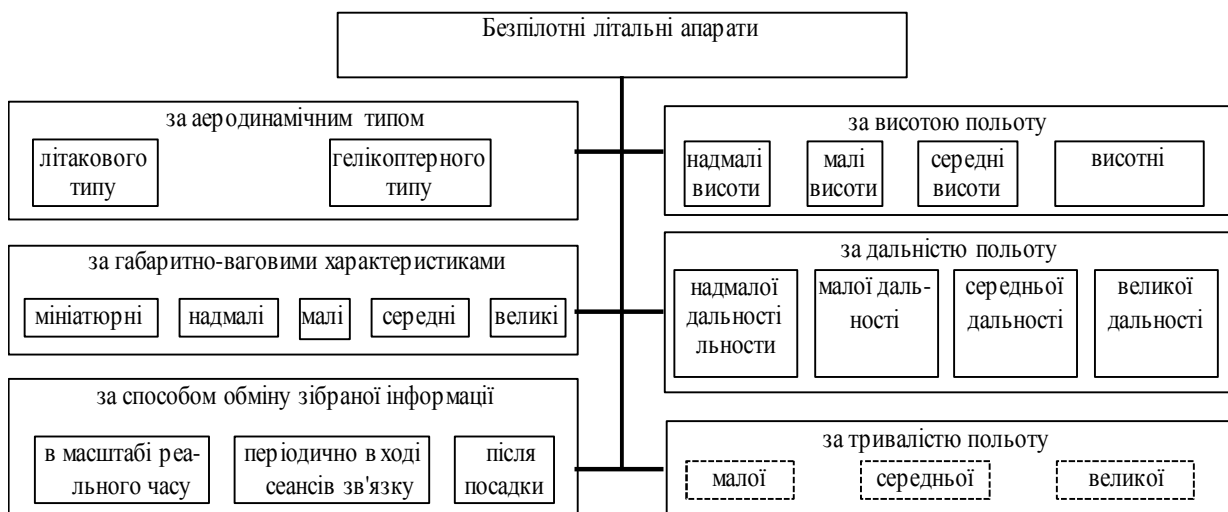


Рис. 1. Класифікація БПЛА за технічними характеристиками

Fig. 1. UAV classification according to technical characteristics

Розрізняють дистанційно пілотований літальний апарат (ДПЛА) – безпілотний літальний апарат з управлінням, яке здійснюється із пункту управління, безпілотний автоматичний літальний апарат (БПАЛА) – безпілотний літальний апарат, що реалізовує своє функціональне призначення в автоматичному режимі відповідно до закладених у нього алгоритмів і програм функціонування та дистанційно керовані літальні апарати (ДКЛА). ДКЛА – безпілотні літальні апарати, що реалізують своє функціональне призначення переважно автономно, з епізодичним втручанням оператора управління для перепрограмування системи управління літальним апаратом. На рис. 2 подано класифікацію БПЛА за способами керування.



Рис. 2. Класифікація БПЛА за способами керування

Fig. 2. UAV classification by methods of control

Особливістю ДКЛА є використання систем зі штучним інтелектом, що забезпечують не тільки політ, але і прийняття рішення у разі виникнення непрогнозованих подій, що і призводить до створення групи дистанційно керованих авіаційних систем [1].

Властивості та можливості дистанційно керованої авіаційної системи найближче відповідають пілотованому літальному апарату, яким керують із пункту управління і який виконує завдання відповідно до власних алгоритмів функціонування, інформаційних систем та впливу навколишнього середовища.

1.2. Апаратне та програмне забезпечення БПЛА. За даними організації Drone Industry Insights за 2016 р., рейтинг компаній БПЛА у світі очолює компанія DJI. Китайський виробник платформ, що має найширший портфель послуг на ринку спеціалізованих та аматорських дронів, комплектуючих (польотні контролери, силові установки, радіо-апаратура) та програмного забезпечення. Більшість військових виробників не розглядали в комерційному рейтингу безпілотних компаній. Оскільки багато з них розширили свою діяльність у напрямі комерційних рішень, їх також внесли до списку. Виробники все частіше починають пропонувати

безпілотники із програмним забезпеченням. Тому в рейтингу додали категорію «компоненти й системи», що охоплює виробників двигунів, таких як NW UAV та EnergyOR, виробників давачів, таких як Headwall та Velodyne LiDAR, а також зустрічних рішень з такими компаніями, як Droneshield та DEDrone. Безпілотник китайської інтернет-компанії Xiaomi (третє місце) пропонує високу продуктивність польоту з 4k камерою. Виробник Hover Camera (китайський стартап Zero Zero Robotics (четверте місце)) випустив селфі-дрон, здатний розпізнавати обличчя і уникати перешкоди без GPS, а також робити знімки з роздільною здатністю 12 мегапікселів. Компанія AeroVironment (п'яте місце) зосереджує увагу на БПЛА для тактичних та урядових платформ, що забезпечує комерційні рішення для точного землеробства, а також енергетики, комунального господарства та інфраструктури. Французька компанія для оборони і космосу ESA Group (15-те місце) з досвідом роботи в галузі робототехніки, автоматизованих систем, моделювання та промислових процесів також випустила безпілотний літальний апарат на платформі IT180 з коаксіальними роторами, що використана для моніторингу геодезичних та геофізичних даних. Дочірня компанія Airbus Group, Airbus Defence & Space (20-те місце) представила перший прототип БПЛА Thor повністю для 3D-друкування, виробництво якого триває менше ніж місяць. Французький виробник БПЛА Delta Drone (місце 15) і французька логістична компанія Geodis випустили апарат для управління складом у реальному часі на основі технології QR-коду. Швейцарський виробник платформ Sensefly (18-те місце) розробив eBee SQ, що дасть фермерам змогу ефективно збирати точні дані про здоров'я культур. Стан посівів аналізують за допомогою камери Parrot Sequoia, яка встановлюється на безпілотник. Вона збирає дані в чотирьох спектральних діапазонах і може виконувати RGB-знімки за один рейс. У партнерстві з Skyward компанія пропонує для користувача ПО для управління операціями. PrecisionHawk (місце 19) випускає БПЛА із фіксованим крилом для комплексного виконання завдань сільськогосподарської аналітики, завдяки уніфікації обладнання для безпілотників комерційного класу DJI із програмною платформою DataMapper. Skycatch розробила додаток «COMMANDER» для операційної системи IOS, що автоматизує збирання даних від останніх версій дронів фірми DJI, перетворюючи їх на професійні інструменти для зондування і картографування. Система PARC (Безперервної повітряної розвідки і зв'язку, так звані «прив'язані дрони» Flying COWs

(Cell on Wings)) на основі гексакоптера має можливість залишатися в повітрі практично необмежено довго завдяки патентованій «мікрофіламентній» системі, розробленій в американській компанії CyPhy. Ключова особливість системи полягає у тому, що дрон отримує живлення не від бортового акумулятора, а безпосередньо із землі по тонкому «мікрофіламентному» електрокабелю, що і дозволяє за необхідності залишати безпілотник у повітрі багато годин поспіль, а за потреби і на кілька днів! Система утримує свою позицію в повітрі автоматично, не потребуючи уваги пілота. PARC розробляли для американських військових, система повинна була забезпечувати можливість тривалого спостереження за чим-небудь або ретранслювати радіосигнали, істотно збільшуючи дальність зв'язку.

Український ринок представлений не менше ніж одинадцятьма підприємствами, такими як ВАТ «Меридіан», ТОВ «НВП» Атлон Авіа», ТОВ «Укрспецсистемс», що розробляють і виробляють безпілотники. Дев'ять з них працюють над дронами військового призначення. БПЛА виробництва Drone.ua збирають дані про землі та посіви, систематизують їх, інтерпретують і дають аграріям науково обґрунтовані рекомендації. Крім АПК, їх застосовують у телекомунікаціях, геодезії, топографії та у видобувній промисловості.

1.3. Метрологічне забезпечення БПЛА.

Невизначений правовий статус БПЛА в деяких країнах призводить до заборони їх використання без певного набору документів та дозволів, а також із дотриманням правил польотів тільки в дозволених місцях і з дотриманням вимог до параметрів польоту. В Україні використання безпілотників не врегульоване законодавчо, однак вони мають статус «безпілотного повітряного судна», тому повинні здійснювати польоти у спеціально зарезервованому за попередньо поданими заявками повітряному просторі. Щоб виконувати аерофотознімання з використанням дрона, потрібен спеціальний дозвіл. Для дронів вагою менше ніж 20 кг, які не використовують з комерційною метою, реєстрація не потрібна. У 2020 р. планують подати Єдині стандарти для використання дистанційно керованих літальних апаратів до Світової організації зі стандартизації уряду декількох країн. Зокрема для того, щоб уникати зіткнень дронів у повітрі, буде розроблена система управління літальними апаратами за допомогою сенсорів висоти і GPS-навігації. Розробники активно співпрацюють у цій сфері з компаніями інших країн (зокрема КНР, в якій сьогодні зосереджено комерційне виробництво дронів), щоб використовувати міжнародний досвід у

сфері автоматичних польотів і опрацювання їх даних для складання міжнародних стандартів.

Крім правового статусу, не розроблено і деякі заходи з метрологічного забезпечення як самого літального апарату, так і окремих його вузлів та станцій управління. Пов'язано це з тим, що для БПЛА використовують новітні технології та стандарти, які поки що на стадії розроблення. Зміни стосуються як уже сформованих стандартів у зв'язку з їх вдосконаленням, так і технологічних рішень загалом.

У цьому плані виокремлюється низка робіт [5]: визначення номенклатури вимірюваних параметрів у системах формування, передавання та відтворення відео-та аудіоінформації, а також найпридатніших норм точності під час вимірювань і контролю якості продукції та управління процесами; встановлення раціональної номенклатури вимірюваних параметрів і якісних показників, вибір вимог до засобів вимірювань і контролю, а також обґрунтування метрологічних процесів; стандартизація та уніфікація алгоритмів оброблення вимірвальної інформації, технології контролю та вимірювань; розроблення, впровадження та атестація сучасних методик виконання вимірювань, випробувань і контролю; перевірка, метрологічна атестація і калібрування застосовуваного вимірвального, а також випробувального устаткування; участь у створенні та впровадженні міжнародних, державних, галузевих стандартів, а також інших нормативних документів, стандартизованих в Україні; підготовка працівників відповідних метрологічних служб і підрозділів до виконання контрольно-вимірвальних процесів.

Впровадження сучасних мультимедійних систем, що відбувається із поступовою заміною окремих аналогових ланок формування, передавання і приймання на цифрові, потребує створення нових методик і стандартів їх метрологічного забезпечення. Якість каналів формування, передавання і відтворення відео- та аудіоінформації оцінюють за допомогою стандартних спеціальних вимірвальних сигналів і випробувальних таблиць.

З появою цифрових технологій доводиться визнати, що використовувані сигнали і таблиці застаріли і виникла необхідність у створенні нових вимірвальних процедур, адекватних використовуваним системам перетворень сигналів, розробленні нових методик вимірювань і контролю, сумісних із традиційними. Отже, незважаючи на наявність нових властивостей цифрових відеоінформаційних систем, під час приймання і відтворення сигналів можливі спотворення, не тільки цифрового, а й аналогового походження. Такі викривлення можуть бути спричинені поганою якістю цифро-аналогового й

аналого-цифрового перетворювачів на вході/виході цифрових кодерів/декодерів, поганою якістю цифрових перетворень сигналів. Тому, наприклад, нові телевізійні вимірювальні сигнали і випробувальні таблиці повинні бути не тільки придатні для випробування якості цифрового кодування, але й містити в собі елементи старих таблиць для оцінювання суто аналогових спотворень. Розроблення сучасних цифрових відеоінформаційних систем і їх впровадження неможливі без метрологічного забезпечення та наявності відповідної вимірювальної апаратури.

Рівень розвитку сучасних навігаційних засобів забезпечує отримання даних від елементів зовнішнього орієнтування (ЕВО) безпосередньо під час знімання [6]. Типові точності вимірювань досягають одиниць сантиметрів для просторових координат і 0.005 градуса для кутів крену, тангажу і рискання для найточніших систем Arplanix POS AV, встановлюваних на «великі літаки». Часто цього досить, щоб виконувати оброблення без використання опорних точок. У будь-якому випадку наявність таких даних значно спрощує оброблення і дає змогу виконувати деякі його етапи повністю в автоматичному режимі. Сучасні досягнення мікроелектроніки дозволяють зібрати електронно-механічний гіроскоп у корпусі величиною декілька міліметрів. Такі гіроскопи не забузпечують точність професійних, але істотно спрощують оброблення даних. На борту можуть встановлюватись такі малогабаритні інерціальні системи: IMU (Inertial Measurement Unit) і високоточні дводіпазонні GPS-приймачі TOPCON EURO 160 з паспортною точністю $10 + 1,5 \text{ мм} \times \text{В}$ (В – віддалення до базової станції, км) в плані та $20 + 1,5 \text{ мм} \times \text{В}$ за висотою. На жаль, зазвичай на борт БПЛА встановлюють дешевші GPS приймачі та не поміщають IMU датчики. Дані про центри проекцій знімків у телеметричній інформації отримують через протокол NMEA з точністю до 20–30 м [4], а кути тангажу, крену і рискання обчислюють через вектор швидкості GPS-вимірювань. Точність кута рискання такої телеметричної інформації невисока і може перевищувати 10 градусів, а самі значення, що містять систематичні помилки, додатково ускладнюють подальше оброблення даних.

Якщо для знімання використано дводіпазонний GPS приймач у диференціальному або автономному PPP (Precise Point Positioning) режимі опрацювання даних GPS, то потрібна мінімальна кількість опорних точок для отримання результатів оброблення з найбільшою точністю, достатньо одну–дві точки на 100 знімків, у деяких випадках оброблення можна виконувати і без опорних точок.

Якщо не визначено точні центри проекцій, застосовують стандартні вимоги до планово-висотного обґрунтування: одна планово-висотна точка на шість–десять базисів знімання.

Метрологічні рекомендації для експлуатації БПЛА такі: використання каліброваних камер, об'єктів із фіксованою фокусною відстанню та центральним затвором; дводіпазонних GPS-приймачів у диференційному режимі вимірювань; інерціальних систем IMU.

2. Результати і обговорення

Аналіз підходів до дослідження напрямів розвитку безпілотної авіації показує, що ключові питання, які визначають вигляд і застосування перспективних авіаційно-технічних систем безпілотної авіації, такі:

- гарантування безпеки льотної експлуатації БПЛА в зоні польотів цивільної авіації та у густонаселених місцях;
- розподіл функцій управління між оператором, що перебуває на пункті управління, і бортовою системою управління.

Велике значення для розвитку БПЛА має забезпечення передавання інформації по каналах зв'язку між безпілотником і наземним пунктом управління без втрат у повному обсязі та з необхідною швидкістю. Для цього необхідні збільшення пропускної здатності та завадостійкості каналів передавання інформації, а також наявність на борту БПЛА пристроїв, що можуть функціонувати в автономному режимі, не потребуючи постійного обміну інформацією, використання супутникових та мобільних ретрансляторів.

Потребує також вирішення проблема розпізнавання об'єктів під час польотів БПЛА, тому поки що неможливо повністю обійтись без участі людини в контурі управління польотом. Для цього можливе використання систем самовчителів керування та нейронних мереж, а також створення бортової системи оброблення одержаної інформації з подальшим відбором непотрібної чи другорядної інформації, що уможливує розроблення «віртуального пілота», наявність якого дасть змогу БПЛА самостійно створювати список виконання завдань, вибирати серед них найважливіші та планувати політ відповідно до прийнятого рішення.

Висновки

Метрологічне забезпечення сприяє оптимізації управління технологічними процесами, підтримує якість виготовлення апаратури й експлуатації. Витрати на метрологічне забезпечення повинні

відповідати масштабам систем формування, кодування, передавання і відтворення інформації, складності технологічних процесів і, зрештою, гарантувати метрологічну безпеку, що є запорукою створення високоякісної продукції та її ефективного використання.

Подяка

Автори висловлюють вдячність колективу кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка», Україна, за надану допомогу та всемірне сприяння у підготовці статті.

Список літератури

[1] О. Тимочко, “Класифікація безпілотних літальних апаратів”. *Системи озброєння і військова техніка*, вип. 1, с. 61–67, 2007.

[2] Д. Дементьев, “Бойові літальні комплекси в складі єдиної інформаційно-розвідувально-навігаційно-ударної системи”. *Збірник наук. праць Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка*. Київ, Україна: ВІКНУ, ном. 27, с. 74–77, 2015.

[3] О. Зинченко, “Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования”. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.racurs.ru/?page=681>.

[4] М. Луцький, “Розвиток міжнародного регулювання та нормативної бази використання безпілотних літальних апаратів”, *вісник НАУ*, ном. 4, с. 5–14, 2015.

[5] В. Дворкович, “Метрологическое обеспечение видеoinформационных систем”, *Техносфера-ЭБС IPRbooks*, с. 784, 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.iprbookshop.ru/58862.html>.

[6] А. Сечин, “Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования”, вип. 2, 2011. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.racurs.ru/page=699/>.

References

[1] O. Timochko, “Classification of unmanned aerial vehicles”. *Systems of armament and military equipment*, no. 1, p. 61–67, 2007.

[2] D. Dementiev, Combat aircraft complexes as part of a single information-reconnaissance and navigational shock system. *Bul. Military Institute of Kyiv National University*, Ukraine, VIKNU, no. 27, p. 74–77, 2015.

[3] O. Zinchenko, “Unmanned Aerial Vehicle: Application for Erophotography for Cartography”. [Online], Available: <http://www.racurs.ru/?page=681>.

[4] M. Lutsky, “Development of international regulation and normative base for the use of unmanned aerial vehicles”, *bul. NAU*, no. 4, p. 5–14, 2015.

[5] V. Dvorkovich, “Metrological support of video information systems”, RF: *Technosphere-EBS IPRbooks*, p. 784, 2015. [Online], Available: <http://www.iprbookshop.ru/58862.html>.

[6] A. Sechin, “Unmanned aerial vehicles: use for mapping aerial photography”, RF: part 2, 2011. [Online], Available: <http://www.racurs.ru/page=699/>.