УДК 528.1:528.4

# АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ АЕРОЗНІМАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

**В. Глотов, А. Гуніна**
Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати (БПЛА), аерознімання.

## Постановка проблеми

Аерознімання вже протягом кількох десятиліть є ефективним інструментом для виконання геодезичних робіт, геофізичних досліджень та проведення різних видів моніторингів. Сучасні технології створення топографічних та кадастрових планів ґрунтуються саме на використанні матеріалів цифрового аерознімання. Однак собівартість застосування літаків та гелікоптерів для локального великомасштабного знімання на порядок вища. Тому альтернативним рішенням є використання для вищевказаних цілей БПЛА.

Однак, для того щоб якісно виконати ці завдання, потрібно оптимізувати технологічні схеми застосування БПЛА в аерозніманні. Використовуючи БПЛА для процесу топографічного аерознімання, необхідно розв’язати низку задач, забезпечивши:

– стабілізацію БПЛА під час проведення його за маршрутом;

– збереження заданої швидкості польоту;

– прямолінійність маршруту;

– зменшення кутів нахилу.

Тому головною проблемою є дослідження причин виникнення похибок внаслідок дії наведених вище чинників та виявлення шляхів їх усунення.

## Зв’язок із важливими науковими та практичними завданнями

Сфери використання БПЛА доволі широкі – від прогнозування надзвичайних ситуацій, контролю державних кордонів, моніторингу дорожньої ситуації до проведення атмосферних і метеорологічних спостережень, запобігання несанкціонованим вирубкам лісу та браконьєрству в національних парках і заповідниках. Їх можна використовувати для оперативного або цілодобового моніторингу стану технологічних об’єктів, автомобільних і залізничних доріг, аеропортів і морських портів, трубопроводів [13].

Найшвидше нововведення сприйняли військові структури та системи “швидкого реагування” в надзвичайних ситуаціях. Впродовж багатьох років неодноразово робилися спроби обладнати БПЛА для потреб цивільного аерознімання. Проте ефективно використати безпілотні літальні апарати за таким призначенням вдалось не всім виробникам [19].

Якщо розглядати можливість застосування БПЛА для потреб сільського господарства [1, 20], то тут виявляються перспективи розвитку таких технологій. І сьогодні встановлення цифрових знімальних пристроїв, а саме фото- і відеокамер, дає змогу використовувати малогабаритні безпілотні комплекси в таких сферах:

– проведення аерознімання для складання докладних планів районів або ж виконання перспективного знімання житлової забудови;

– планування використання земель сільськогосподарського та промислового призначення (це особливо актуально для районів зі щільною забудовою);

– обстеження району складування шкідливих та отруйних речовин, доступ людини в які є обмеженим або небезпечним.

Створення великомасштабних планів сільських населених пунктів на основі даних, отриманих за допомогою БПЛА, необхідне для проектування генеральних планів [4]. А це, своєю чергою, пов’язано із обліком земель та встановленням меж у певному регіоні.

На відміну від наземних геодезичних методів, до яких належать тахеометричне знімання та вимірювання за допомогою GPS-приймачів, безпілотні літальні апарати дають змогу швидко та економічно вигідно виконати аерознімання територій невеликої площі, з метою складання кадастрових планів та ортофотопланів.

## Невирішені частини загальної проблеми

Розробники пропонують БПЛА як для потреб цивільного використання, так і для структур, що займаються забезпеченням національної безпеки держави. Але поки що не визначений повний перелік робіт, які можна виконувати за допомогою безпілотних авіаційних комплексів, не затверджені стандарти, відповідно до яких вони повинні створюватись [6, 9].

На початок XXI століття більш ніж 50 фірм у різних країнах розробили і випустили понад 150 типів безпілотних літальних апаратів [3]. Їх широкомасштабне використання дозволяє повною мірою виконати аналіз завдань, класифікацію типів БПЛА й визначити особливості застосування в різних умовах. Тому частиною загальної проблеми є удосконалення наявних та створення нових безпілотних літальних апаратів, а також введення їх класифікації з метою полегшення вибору виду БПЛА для поставленого завдання.

**Постановка завдання**

Отже, з урахуванням невирішених частин загальної проблеми сформулюємо відповідні завдання:

- Виконати критичний аналіз літературних джерел, в яких висвітлюються технологічні аспекти застосування БПЛА, щоб виявити недоліки та способи їх усунення для отримання якісних аерознімальних матеріалів.
- Класифікувати безпілотні літальні апарати, з метою полегшення вибору певного виду для поставленої задачі.
- Визначити перспективи подальшого розвитку БПЛА.

**Виклад основного матеріалу**

Типове аерознімальне обладнання безпілотних літальних апаратів, як правило, містить цифрову камеру або відеокамеру, інколи у гіростабілізованій платформі, та інфрачервону камеру або сканер. В деяких випадках БПЛА обладнують лазерними віддалемірами або лазерними сканерами, а середні та важкі – радіолокаційними станціями із синтезованою апертурою антени (РСА).

Безпілотні або дистанційно керовані апарати, безумовно, відповідають всім характеристикам роботизованих систем, і, насамперед, це їх здатність виконувати завдання автоматично, що не потребує присутності виконавця в небезпечних умовах, дає змогу здійснювати монотонну роботу, яка вимагає певних високофахових навичок і концентрації уваги.

У публікації [12] розглянуто аспекти використання безпілотних комплексів для ведення різного виду моніторингу. Такі комплекси застосовують для актуалізації та уточнення геопросторової інформації. Отримане в результаті знімання зображення накладається на цифрову модель рельєфу місцевості, після чого дані можна використовувати для вимірювання відстаней, визначення площ, як підґрунтя для пошарового накладання іншої інформації.

На нашу думку, автори вдало проаналізували структуру ринку безпілотних літальних апаратів, а також професійно виділили три групи цивільного застосування БПЛА:

- для забезпечення безпеки життя;
- в науково-дослідних цілях;
- в комерційних цілях.

У публікації наголошується на подальшому зростанні цивільного сегмента ринку БПЛА практично у всіх регіонах світу.

Проте розроблення і виробництво сучасного безпілотного авіаційного комплексу – це не основне завдання авіабудування в його традиційному розумінні. В цьому аспекті літальний апарат виконує важливу та одну з багатьох функцій – засобу транспортування.

У статті [11] запропоновано поділ більшості задач, які розв'язуються за допомогою аерокосмічних методів, на три рівні: глобальний, регіональний, локальний (див. табл.1).

*Таблиця 1*

**Просторові рівні аерокосмічного знімання**

| Рівень | Об'єкт, що досліджується | Засоби знімання |
|---|---|---|
| ***Глобальний*** | Континент, країна | Супутникові |
| ***Регіональний*** | Область, район | Супутникові та авіаційні (середні літаки) |
| ***Локальний*** | Невеликі території (поле, ліс, місто тощо) масштабом не більше за 1:10 000 | Авіаційні (середні літаки, гелікоптери) |
| ***Точковий*** | Населений пункт, ділянка | Легкі літаки, мотодельтаплани, БПЛА |

Наголошується, що сьогодні саме безпілотні літальні апарати широко використовуються для аерознімання, оскільки є недорогою альтернативою традиційному зніманню з літаків, гелікоптерів, мотодельтапланів та супутників.

Крім високої економічної ефективності (здешевлення в десятки разів), БПЛА мають додаткові переваги порівняно з традиційним аеро- та космічним зніманням:

- невелика висота знімання – можливо виконувати знімання на висотах від 10 до 200 метрів для отримання надвисокого розрізнення (одиниці й десяті сантиметра) на місцевості;
- точковість – можливість детального знімання невеликих об'єктів і малих ділянок там, де це цілком нерентабельно або технічно неможливо зробити іншими способами, наприклад, в умовах міської забудови;
- мобільність – не потрібні аеродроми або спеціально підготовлені злітні майданчики, БПЛА легко транспортуються легковими автомобілями (або переносяться вручну), відсутня складна процедура дозволів і узгодження польотів;
- висока оперативність – весь цикл, від виїзду на знімання до одержання результатів, займає кілька годин;
- екологічна чистота польотів – використовуються малопотужні бензинові або безшумні електричні двигуни, забезпечується практично нульове навантаження на навколишнє середовище.

Автори статті детально висвітлили переваги БПЛА над іншими літальними апаратами та вдало виділили особливості різних видів безпілотних літальних апаратів, а також наголосили на необхідності використання різних засобів аерокосмічного знімання, залежно від просторового рівня поставленої задачі.

У статті [9] розглянуто варіанти побудови безпілотних авіаційних комплексів, проаналізовано технічні характеристики та способи їх застосування. Показано, що коло завдань, які вирішують безпілотні засоби, значно розширюється.

Створенням дослідних зразків безпілотної авіаційної техніки в Україні займається ціла низка організацій: “Юавіа” (м. Київ); державне підприємство Міністерства оборони України “Чугуївський авіаремонтний завод”; конструкторське бюро “Зліт” (м. Харків); міжгалузевий науково-дослідницький інститут проблем фізичного моделювання (м. Харків); “Укртехно-Атом” (м. Київ); Державний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського; науково-дослідні центри при технічних ВНЗ та окремі творчі колективи. Проте така діяльність має переважно комерційний характер.

Ефективність застосування безпілотних апаратів різного призначення багато в чому визначається якістю функціонування командного та інформаційного каналів. Перший із них призначений для передавання сигналів керування БПЛА з пункту управління на його бортову апаратуру, яка відпрацьовує отримані команди керування. За цими командами літальний засіб змінює висоту, курс і швидкість польоту, а також відпрацьовує зміну режимів роботи розвідувальної та іншої апаратури.

Автори статті дали чітке визначення терміна “безпілотний літальний апарат” та дослідили складові обладнання БПЛА та безпілотних авіаційних комплексів.

У публікації [16] наведено 3D-моделювання та класифікацію видів дерев у парковій зоні за допомогою аерознімків, отриманих із системи БПЛА. Відповідно до проекту FoGLIE (Fruition of Goods Landscape in Interactive Environment) автори виконали дослідження території регіону Ломбардії (Італія), який характеризується наявністю різноманітних видів ландшафту і культурних цінностей. Основною метою проекту було створення 3D-реконструкцій природної, художньої та культурної спадщини досліджуваної території.

У результаті було отримано велику кількість мультиспектральних знімків високого розрізнення. Для цього використовували дві компактні цифрові камери: Pentax Optio A40 для RGB знімків і Sigma DP1, щоб отримати NIR групу.

У процесі знімання нахил кріплення відеокамери за наявності вітру призвів до змазу зображення, а набори даних характеризувались нерівномірним освітленням. Але після проведення попередньої обробки, зменшення шуму та підвищення контрастності можна стверджувати, що зображення, отримані за допомогою камери, встановленої на БПЛА, придатні для цілей 3D-моделювання.

Автори статті, після огляду характеристик набору даних, детально описали методику дослідження щодо оптимізації знімання з БПЛА. Створено класифікацію (десять класів) ґрунтового та рослинного покриву за допомогою алгоритму ISOCLASS в ERDAS ER Mapper. Але вона виявилась недосконалою, оскільки не всі ділянки правильно класифіковано.

У статтях [5, 10] подано загальний огляд характеристик сучасних моделей БПЛА, які можуть застосовуватись в аерознімальних процесах для картографування. Також в цих публікаціях добре висвітлені переваги і недоліки БПЛА. Необхідно звернути увагу на те, що ці моделі не є ідеальними і мають вади, над усуненням яких треба ще працювати, щоб моделі повністю відповідали вимогам проведення аерознімання для картографування. Розглянуто особливості даних аерознімання з БПЛА та наведено рекомендації щодо його проведення, щоб досягти максимальної точності результатів знімання. Наголосимо, що дуже важливо звертати увагу на характеристики камери, яка встановлюється на борту безпілотного апарата. З БПЛА отримують доволі якісні аерознімальні матеріали, але за умови виконання певних вимог до знімальної апаратури і процесу знімання та строгої фотограмметричної обробки. В публікації подано розгорнутий огляд моделей БПЛА, розроблених з метою аерофотознімання, та сформульовано ознаки для визначення аерознімальних БПЛА.

В публікації [8] розглянуто методи цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотного літального апарата.

Зберігання і передавання зображень, що представлені у вигляді матриці пікселів, потребує опрацювання великих об’ємів даних. Проте безпосереднє подання зображення у нестиснутому вигляді є неефективним унаслідок значної корельованості елементів матриці, а варіант незалежного кодування пікселів утворює надмірні коди. На сучасному етапі для стиснення зображень у разі передавання їх по каналах зв’язку найширше використовуються стандарти JPEG та MPEG. Їх робота основана на дискретно-косинусному перетворенні. Їх недоліком є те, що з підвищенням ступеня стиснення погіршується якість відновленого зображення. Тому особливої актуальності серед проблем цифрової обробки зображень набуває вирішення протиріччя між отриманням необхідної якості зображень та забезпеченням максимально можливого стиснення даних. Формати MPEG (Moving Picture Experts Group) розроблялися як для цілей цифрового телевізійного мовлення (MPEG-2), так і для застосування у мультимедійних системах (MPEG-1, MPEG-4 і MPEG-7) з метою зберігання і передавання динамічних зображень.

Автори подали у цій статті розгорнуту класифікацію технічних засобів обробки зображень, головне завдання якої – підвищення його якості, яка оцінюється візуально, а також виділили найчастіше використовувані процедури обробки.

На підставі проведеного аналізу тенденцій розвитку використання матричних приймачів випромінювання (МПВ) та алгоритмів цифрової обробки для отримання інформації з БПЛА доведено актуальність завдання проведення аналізу та встановлення особливостей функціонування і застосування алгоритмів цифрової обробки апаратурою БПЛА.

В статті [7] йдеться про розвиток системи чотирьох ракурсів камер MICRO-БПЛА. Розроблення такої мультикамерної системи загальною вагою 1 кг, зважаючи на фотограмметричні аспекти, є досить складним завданням. Нахилені камери дозволяють охоплювати більшу площу ділянки, хоча і не в одному масштабі по всьому зображенню (рис. 1).

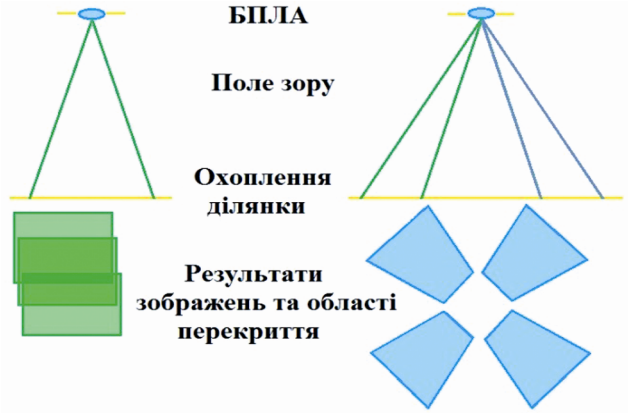


*Рис. 1. Охоплення ділянки місцевості похилою системою "Four Vision" порівняно зі звичайним надирним полем зору*

Похилий вигляд зображення поверхні забезпечує додаткові переваги. Проте зображення, отримані з одного похилого напрямку, спотворились через двонапрямлену функцію відбивної здатності (BRDF) рослинності. Це означає, що відображення рослинної поверхні сильно залежить від ракурсу і геометричного зв'язку між сонцем і камерою. На основі проведених досліджень автори виділили додаткові умови для Мікро-БПЛА у разі застосування загальних систем камер чотирьох ракурсів:

- необхідні промислового класу програмовані (відео) камери, які добре підходять для фотограмметричних додатків;
- низький рівень споживання електроенергії;
- гнучка конструкція, щоб врахувати різні конфігурації;
- можливість зберігання даних на борту і GPS на основі польоту управління.

Розроблена система мультиголовки камери складається з чотирьох діагональних перспективних камер (Four Vision). У цій камері з відомими параметрами калібрування, ланцюг обробки зображень з високим розрізненням є перспективним. Порівняно з бортовими камерами середнього формату якість зображення досліджуваної камери на порядок гірша. Тому важливо дослідити питання покращення якості зображення.

У роботі [14] описано використання безпілотної системи в провінції Шаньсі (Китай) для отримання інформації з метою створення планів у масштабі 1:1000, а також основні етапи та ключові технології системи БПЛА. Отримано 1024 аерознімки району робіт. У результаті досліджень виявлено, що система БПЛА має переваги – високу точність аерознімків і великомасштабних DLG (Digital Line Graphic).

Зображення, отримані за допомогою літаків і супутників, не завжди можуть забезпечити точність великомасштабного картографування, тому єдиним способом для отримання зображення у масштабі 1:1000 та більших масштабах DLG є застосування БПЛА. Завдяки висоті та швидкості польоту можна отримати вищу точність аерознімків. Після обробки можна отримати DRG, DEM, DOM і DLG, які забезпечать потреби держави і суспільства для всіх видів даних.

Автори статті висвітлили переваги БПЛА з фотограмметричного погляду для отримання аерознімків з високою роздільною здатністю і великомасштабних DLG.

У статті [7] розглянуто причини появи та напрями розвитку БПЛА та проаналізовано сучасний стан ринку безпілотної авіації. Останніми роками системи БПЛА набули актуальності для різних комерційних, промислових, громадських, наукових та військових операцій. Вони виконують такі завдання: знімання, обслуговування інфраструктури, огляд затоплених територій, пожежогасіння, моніторинг місцевості, патрулювання лісових масивів з метою раннього виявлення пожеж, пошкодження ліній електропередач і трубопроводів, проведення аерознімальних робіт у сільськогосподарському виробництві на полях і в садах тощо. Аналіз розвитку використовуваних сьогодні у світі безпілотних систем виявляє стійку тенденцію до збільшення їхніх розмірів і маси, а також висоти й тривалості польоту.

Стосовно регіонального світового розподілу розробок та застосувань можна зробити висновок, що лідирують найрозвиненіші країни – Великобританія, Німеччина та Франція. На них припадає 248 проектів з 336, а це близько 73 %.

Розвиток цивільних БПЛА нерозривно пов'язаний з розвитком військових, причому військові розвиваються стрімкіше і допомагають у розвитку цивільного ринку. Впродовж 2006–2012 рр. світовий ринок цивільних БПС зріс на 350 % а саме з 60 до 220 проектів та застосувань.

Автори цієї статті вдало окреслили напрями розвитку безпілотних літальних апаратів.

В публікації [2] подано результати експериментальних робіт, які є продовженням досліджень можливості застосування БПЛА для виконання аерознімальних робіт. Акцентовано на необхідності стабілізації літального апарату і посилення автоматизації процесу аерознімання. Висвітлено також деякі недоліки аерознімання. На якість отриманих матеріалів вплинула неправильна оцінка швидкості та напрямку вітру, що призвело до неправильної оцінки кута зносу і, відповідно, неправильної орієнтації фотокамери відносно осі літака.

Застосування БПЛА дасть можливість оперативно виконувати аерознімання спроектованої місцевості та отримати об'єктивні дані про наявність будов на території, оскільки зображення є і залишається реальним документом, завдяки якому завжди можна впевнитися у положенні та конфігурації границь ділянки.

Необхідно зазначити, що прив'язні аеростати мають позитивні та негативні ознаки. На перший погляд, їх можна застосувати для маршрутного, навіть і для

блочного аерознімання, пересуваючи засіб за проектною лінією, визначеною на місцевості. Однак на практиці це ускладнюється тим, що балон надто хиткий, гойдання камери виходить за межі допустимих кутів нахилу, що призводить до неможливості подальшого прецизійного опрацювання зображень.

В публікації [18] подана нова 2D-система гіперспектральних камер, розроблена VTT (Технічний дослідницький центр Фінляндії) і Rikola Ltd. Вона містить легку камеру з давачем RGB-NIR відповідно для легкої ваги й економічності безпілотних літаків. MosaicMill може перетворювати дані камери в потрібний формат для фотограмметричної обробки і гарантує необхідну точність для додатків кінцевого користувача. MosaicMill TOB також подала свою технологію EnsoMOSAIC для обробки гіперспектральних даних ортофотопланів. У цій статті описуються основні етапи та результати застосування гіперспектральних давачів в ортомозаїці, найперспективніші результати, а також проблеми в сільському і лісовому господарстві. Геометрична стабільність і калібрування мають важливе значення у зв'язку з високою точністю фотограмметричних робіт, для вирішення елементів внутрішнього орієнтування, тим більше, що рекомендується калібрування камери перед будь-якою фотограмметричною обробкою. З іншого боку, важливо знати стабільність системи камер.

Нова гіперспектральна система камери добре підходить для землевпорядкування, рослинного і лісового огляду. Її точність є достатньою, і камера забезпечує економічний варіант для обмеженого корисного навантаження дистанційного зондування, порівняно з іншими гіперспектральними матрицями. Програмне забезпечення постійно удосконалюється, бажано було б досягти відповідного рівня технології для вузьких показників групи з великою точністю дистанційного зондування.

У публікації [15] багато популярних БПЛА обмежені за розміром і вагою, що зумовило розроблення різноманітного дизайну сенсорних систем для цих роботів. Спроектований невеликий і легкий 3D-лазерний сканер, що безперервно обертається та уможливлює сприйняття навколишнього середовища в діапазоні 30 м практично у всіх напрямках. Цей давач добре підходить для 3D-виявлення перешкод, оцінки 6D-руху, локалізації та картографування.

Для оцінки руху цього мультикоптера проведено реєстрацію 3D-лазерним сканером для отримання його схематичної карти. В експериментах порівнюється оцінка його руху на основі лазера із землі від системи захоплення руху. Загалом можна побудувати точну карту 3D- перешкод і оцінити траєкторію автомобіля на 3D-реєстрації сканування.

Як бачимо, вибрана тематика і сьогодні актуальна, що підтверджується великою кількістю публікацій з цієї теми не тільки в Україні, але й за кордоном. Проаналізувавши літературні джерела, в яких розглянуто застосування БПЛА для аерознімальних робіт, ми запропонували глобальну класифікацію, подану на рис. 2.

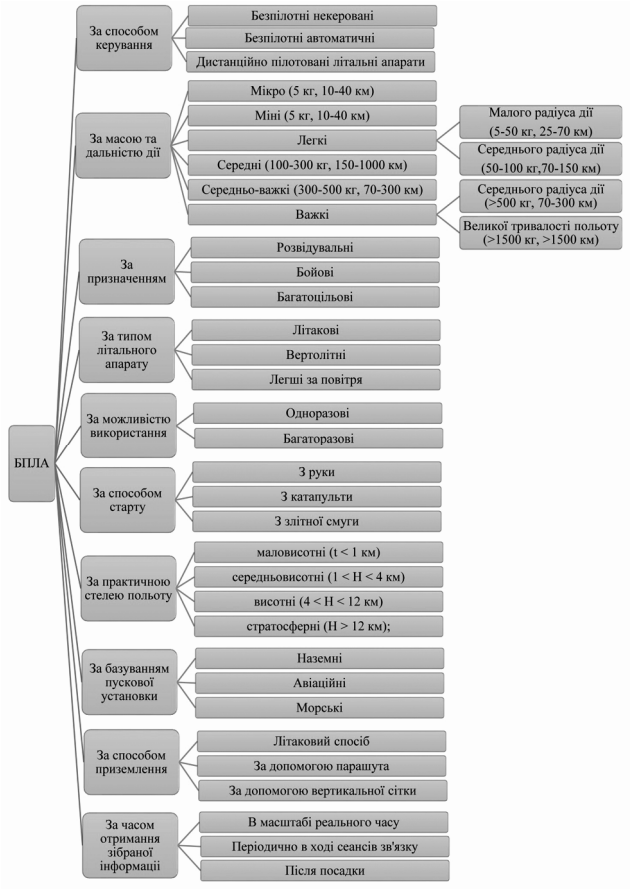


*Рис. 2. Класифікація безпілотних літальних апаратів*

**Висновки**

1. На підставі проведеного аналізу тенденцій використання БПЛА та напрямів їх подальшого розвитку можемо стверджувати, що використання безпілотних літальних апаратів є перспективним для знімання невеликих за протяжністю площадкових об'єктів і знімання лінійних об'єктів. Їх впровадження стрімко розвивається і вони займають гідне місце в аерознімальних процесах.

2. На нашу думку, розглянуті класифікації недостатньо розгалужені, тому запропонована авторами класифікація суттєво розширює можливості щодо обґрунтування вибору тих чи інших конкретних БПЛА для їх використання в інтересах народного господарства та національної безпеки України.

Перспективою подальших досліджень буде: обґрунтування вимог до процесу обробки цифрових зображень, отриманих з БПЛА; формулювання вимог для конструювання аерознімальних БПЛА та застосування відповідних цифрових знімальних систем.

**Література**

1. Алексеев В. Беспилотные летательные аппараты — на службу армии и народного хазяйства [Електронний ресурс] / Алексеев В. // Голос Украины. – 12.06.2009 – № 107. – Режим доступу: URL: http://www.golos.com.ua/ Article. aspx?id=136248

2. Аналіз експериментальних робіт з створення великомасштабних планів сільських населених пунктів при

застосуванні БПЛА / Галецький В., Глотов В., Колесніченко В. [та інші] // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2012. – № 76. – С.85–93.

3. Галушко С. Беспилотные летательные аппараты кардинально изменят облик авиации будущего [Електронний ресурс] / Галушко С. // Авиапанорама – 2005. – № 4. – Режим доступу: URL: http://aviapanorama.narod.ru/ journal/ 2005_4/bpla.html

4. Глотов В.М. Застосування стереофотограмметричного методу для створення картматеріалів при проектуванні генеральних планів сільських населених пунктів / Глотов В.М., Кордуба Ю.Г. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – № 74. – С. 97–101.

5. Проблемы создания беспилотных авиационных комплексов в Украине / Гребеников А.Г., Журавский А.Г., Мялица А.К. [и др.] // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2009. – № 42. – С. 111–119.

6. Зинченко О.Н. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 1) / Зинченко О.Н. // Ракурс. – 2011. – С. 1–12

7. Матійчик М.П. Тенденції застосування безпілотних повітряних суден в цивільній авіації / Матійчик М.П., Качало І.А // Матеріали XI міжнародної наук.-техн. конфер. “АВІА 2013”. – 2013. – С. 97.

8. Проценко М.М. Аналіз методів цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотного літального апарата / Проценко М.М. // Вісник ЖДТУ. – № 3 (т. 1) – С. 67–72.

9. Проценко М.М. Аналіз структури та варіантів побудови безпілотних авіаційних комплексів / Проценко М.М. // Вісник ЖДТУ Вісник ЖДТУ. – № 2. – С. 113–118.

10. Сечин А.Ю. Беспилотный летательный аппарат: Применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 2) / Сечин А.Ю., Дракин, Киселева А.С. // Ракурс. – 2011.

11. Станкевич С.А. Застосування сучасних технологій аерокосмічного знімання в аграрній сфері / Станкевич С.А., Васько А.В. // Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій: матеріали наук.-практ. конфер. – 2011. – С. 44–50.

12. Трубников Г.В. Беспилотные летательные аппараты и технологическая модернизация страны / Трубников Г.В., Воронов В.В. // Экспорт вооружений. – 2009. – № 4. – С. 11–20

13. Харченко В. П. Інноваційний компонент національних економічних стратегій / Харченко В.П. // Стратегія розвитку України. – 2011. – № 1. – С. 8–10.

14. Chen J. Application of UAV system for low altitude photogrammetry in Shanxi / Chen J., Zongjian L., Xiaojing W., Yongrong L. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. – XXII ISPRS Congress. Melbourne. – 2012. – P. 351–354.

15. Droeschel D. Omnidirectional perception for lightweight UAVs using acontinuously rotating 3D laser scanner / Droeschel D., Schreiber M., Behnke S. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. – 2013. – P. 107–112.

16. Gini R. Aerial images from an UAV system: 3D modeling and tree species classification in a park area / Gini R., D. Passoni D., Pinto L., Sona G. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. – XXII ISPRS Congress. Melbourne. – 2012. – P. 361–366.

17. Grenzdörffer G. Development of four vision camera system for a Micro-UAV / Grenzdörffer G., Niemeyer F., Schmidt F. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. – XXII ISPRS Congress. Melbourne. – 2012. – P. 369–374.

18. Mäkeläinen A. 2D-hyperspectral frame imager camera data in photogrammetric mosaicking / Mäkeläinen A., Saari H., Hippi I., Sarkeala J., Soukkamäki J.// The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. – 2013. – P. 263–267.

19. [Електронний ресурс] Компания “Лимб” успешно завершила испытания комплексов аэрофотосъемки на базе БПЛА “Орлан-10”.– Режим доступу: URL: http://expo-geo.ru/event/4/news/89_Kompaniya-LIMB-uspeshno-zavershila-ispitaniya-kompleksov-aerofotosyemki-na-baze-BPLA-ORLAN-10.html

20. [Електронний ресурс] Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). – Режим доступу: URL: [fly-photo.ru/primenenje-bpla.html]

**Аналіз літературних джерел. Можливості застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів**

В. Глотов, А. Гуніна

Здійснений критичний аналіз літературних джерел стосовно можливостей застосування сучасних БПЛА для великомасштабного аерознімання. Наведено розгорнуту класифікацію сучасних БПЛА та подано відповідні висновки, окреслено перспективи розвитку цього технологічного процесу.

**Анализ литературы. Возможности применения беспилотных летательных аппаратов для аэросъёмочных работ**

В. Глотов, А. Гунина

Представлен критический анализ литературы относительно возможностей применения современных БПЛА для крупномасштабной аэросъемки. Приведена развернутая классификация современных БПЛА, сделаны соответствующие выводы, показаны перспективы развития этого технологического процесса.

**Analysis of the literature. Possibilities of for UAVs for aerophotographic processes**

V. Glotov, A. Gunina

The critical analysis of the possibilities to using modern UAVs for large-scale aerial photography is presented in the paper. Detailed classification of modern UAVs propose and submitted the appropriate conclusions and prospects of this technological process.