

УДК 528.72/73

В. Галецький, В. Глотов, В. Колесніченко, О. Прохорчук, А. Церклевич
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”
Національний університет “Львівська політехніка”

АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РОБІТ З СТВОРЕННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ПЛАНІВ СІЛЬСЬКИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ БПЛА

© Галецький В., Глотов В., Колесніченко В., Прохорчук О., Церклевич А., 2012

Представлены результаты экспериментальных работ, которые являются продолжением исследований по возможности применения БПЛА для выполнения аэросъемочных работ. Акцентируется внимание на необходимость стабилизации летательного аппарата и усиления автоматизации процесса аэросъемки. Делаются соответствующие выводы.

The paper presents results of experimental studies, which are a continuation of studies on the possibility of using UAVs for aerial operations. Attention is drawn to the need to stabilize the aircraft and increasing automation of aerial photography. Made by appropriate conclusions.

Постановка проблеми. Реформування земельних відносин в Україні здійснюється вже понад 20 років (з 1991 р.). З нещодавнім прийняттям Закону про земельний кадастр та майбутнім прийняттям Закону про ринок землі виникнуть нові вимоги до геодезичної складової земельного кадастру, оскільки недостовірна кадастрова інформація, яка обумовлена неточністю визначення координат точок поворотів меж земельної ділянки та її площі, спричинить недопустимі похибки у створенні податкової бази, що, в одному випадку, ущемляє інтереси землекористувачів, а в іншому, інтереси держави. Як показує практика, використання традиційних методів геодезичних вимірювань та результатів їх опрацювання під час виконання несуцільної інвентаризації земель населених пунктів не дозволяє дати відповідь на запитання щодо точності визначення координат знімальної основи, межових знаків та точок поворотів меж, оскільки роботи із землеустрою переважно проводяться несистемно і без надійного контролю. Все це приводить до того, що значно частіше стали виникати проблеми із суміщенням меж сусідніх ділянок внаслідок формування неякісної кадастрової інформації (геометричні параметри ділянок та їх розміщення) в базах даних, які створювались впродовж багатьох років регіональними центрами державного земельного кадастру. Хоча відомо, що основою для геодезичного встановлення меж земельних ділянок (характеристики земельних ділянок найчастіше визначаються за їх фактичним станом), а також реєстрації їх просторових та правових характеристик, виступає документація із землеустрою, дані якої мають офіційний характер і набувають юридичного значення внаслідок затвердження за встановленою законодавством процедурою. До того ж виявляється “невідповідність” фактичних меж ділянок тим, що раніше зазначались у документації із землеустрою. Тому, безперечно, необхідна кропітка і системна робота над помилками у державному земельному кадастрі. Найефективніше таку роботу можна здійснити, проводячи суцільну інвентаризацію земель, разом із земельними ділянками, які перебувають у приватній власності або користуванні, за умов застосування інформації, одержаної засобами дистанційного зондування Землі. Економічно привабливим для цих цілей є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), оснащених відповідними засобами для проведення автоматизованого аерофотознімання. Результати аерознімальних робіт можна розглядати як інформаційну основу для перевірки (валідації) наявних даних державного земельного кадастру у процесі інвентаризації земель та визначення сучасного стану їх використання з веденням чергових кадастрових планів (карт) із відображенням усіх об’єктів кадастрового обліку. Застосування БПЛА дозволять оперативно, у разі невеликих витрат коштів,

виконати аерофотознімання невеликих за площею земельних ділянок (садівничого товариства, дачного селища, сільських населених пунктів тощо), з метою складання кадастрових планів та ортофотопланів різного масштабного ряду для виконання різних завдань моніторингу земель.

З іншого боку, створення таких площ наземними методами доволі складний процес, який може розтягнутися на декілька років. Ще один нюанс полягає у тому, що відобразити всі будови та ускладнену конфігурацію ділянки доволі проблематично, з декількох точок зору. По-перше, не завжди можливо це зробити з однієї, а навіть і з кількох станцій при тахеометричній зйомці, по-друге, як це не парадоксально виглядає, інколи просто немає доступу на територію цієї ділянки. Це пояснюється відсутністю, або незгодою з власником ділянки.

Аерознімання території і в подальшому застосування стереофотограмметричного методу створення великомасштабних планів дає унікальну можливість усунення вищеперерахованих вад. Водночас час використання для аерознімання пілотованих носіїв вимагає великих фінансових витрат та вирішення багатьох організаційних питань, що знижує оперативність методу. З цієї точки зору для усунення цих проблем пропонується застосування БПЛА.

Зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями. Створення великомасштабних планів для землевпорядкувальних робіт є нині доволі актуальною задачею в галузі кадастру. Передусім це стосується сільських населених пунктів, оскільки ще далеко не на всі ділянки в Україні створені кадастрові плани під розпаювання земель.

Аерознімання території і в подальшому застосування стереофотограмметричного методу створення великомасштабних планів дає унікальну можливість усунення вищеперерахованих вад. Водночас використання для аерознімання пілотованих носіїв вимагає великих фінансових витрат та вирішення багатьох організаційних питань, що знижує оперативність методу. Для усунення цих проблем пропонується застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

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

Як вже підкреслювалось вище застосування БПЛА надасть можливість забезпечити великомасштабними планами землевпорядні організації, а оскільки плани ділянок будуть створюватися стереофотограмметричним методом, то це своєю чергою унеможливить суб'єктивність відображення території та дасть можливість наочного контролю границь меж.

Аналіз останніх досліджень та публікацій присвячених розв'язанню даної проблеми. Необхідно відзначити, що останнім часом зацікавленість БПЛА значно зросла, причому застосування пропонується у різних галузях науки і техніки: в архітектурі, кадастрі, археології, у різноманітних геоінформаційних системах тощо. Окремою ланкою виступають у цьому напрямку прив'язні аеростати, застосування яких поки що обмежується локальними об'єктами, тобто знімання виконується фактично або з одного базису, або з двох, для подальшої обробки як поодиноких знімків, так і стереопар [1,2]. Необхідно відзначити, що прив'язні аеростати мають свої позитивні та негативні ознаки. З першого погляду їх можна застосувати для маршрутного, а навіть і для блочного аерознімання, пересуваючи засіб за проектною лінією, назначеною на місцевості. Однак на практиці це ускладнюється тим, що балон надто хиткий, а відтак гойдання камери виходить за межі допустимих кутів нахилу, що своєю чергою приводить до неможливості подальшого прецизійного опрацювання зображень.

У публікації [3] наводяться технічні характеристики сучасних БПЛА, які можуть бути задіяні в аерознімальних процесах для складання кадастрових та топографічних планів. Необхідно наголосити, що і сьогодні ці моделі ще далекі від штатних показників, тобто мають вади, які необхідно усунути, щоб впритул підійти до вимог щодо проведення класичного аерознімання.

Отже, проведення, хоча і короткого, аналізу сучасного стану застосування БПЛА дає змогу констатувати, що це впровадження стрімко розвивається і через декілька років БПЛА займуть гідне місце у аеротопографічному виробництві.

Невирішені частини загальної проблем. Під час застосування БПЛА для процесу топографічного аерознімання необхідно розв'язати низку задач, а саме:

- стабілізацію БПЛА при проведенні його за маршрутом;
- збереження заданої швидкості польоту;
- прямолінійність маршруту.

Постановка завдання. Визначення недоліків при застосуванні БПЛА для топографічного знімання в процесі його реальної апробації. Аналіз цифрового стереофотограмметричного методу при обробці отриманих цифрових матеріалів.

Виклад основного матеріалу. Роботи з дослідження можливості великомасштабного аерознімання сільських населених пунктів з метою створення кадастрових планів послідовно проводять фахівці факультету аерокосмічних систем НТУУ “КПІ” та Інституту геодезії Національного університету “Львівська політехніка” з 2009 р. Впродовж першого етапу робіт було виконане багатомаршрутне аерознімання ділянки села Колонщина Київської області з борту БПЛА “Птах” конструкції ФАКС НТУУ-“КПІ”. Аналіз отриманих результатів виявив деякі недоліки запропонованої технології аерознімання зокрема:

- недостатньо точне дотримання швидкості та висоти польоту через відсутність у пілота оперативної телеметричної інформації;
- нестабільність системи дистанційного керування літаком на відстані більше ніж 700 метрів та низьку стійкість системи до електромагнітних завад;
- недостатній захист фотокамери при русі по землі;
- незручний оперативний доступ до фотокамери, що ускладнював зміну налаштувань;
- високий рівень вібрації, що призводив до змазування зображення;
- порівняно велику швидкість польоту на маршруті.

З іншого боку, незважаючи на недоліки, за результатами обробки отриманих матеріалів було зроблено висновок про перспективність продовження цих робіт. З цією метою фахівці факультету АКС НТУУ “КПІ” спроектували та побудували спеціалізований малий безпілотний літак “Пегас” з електричним двигуном. Особливостями цієї конструкції є короткі дистанції зльоту та посадки в поєднанні з низькою швидкістю польоту (рис. 1).

Особливу увагу під час конструювання літака було зосереджено на забезпеченні захисту бортового обладнання та аерофотографічної установки при зльоті та посадці. Літак оснащено новою дистанційною системою керування з високим радіусом дії, сучасною інтегрованою системою визначення, реєстрації та дистанційного моніторингу параметрів польоту (рис. 2).

За її допомогою оператор літака отримує в реальному режимі часу відекартинку з встановленої на борту літака керованої відеокамери. У відеопотік вмонтовано індикацію таких параметрів польоту, що оновлюються з частотою 10 Hz:

- відносна барометрична висота;
- відносна висота за даними GPS давача;
- повітряна швидкість;
- просторова швидкість руху за даними GPS давача;
- напрямок просторової швидкості руху;
- положення та напрямок руху літака відносно точки старту та заданих точок маршруту.

Для виконання експерименту на борту літака на аеропристорі було встановлено камеру Canon EOS 450D сполучену з інтервалометром (рис. 3). Дистанційне відкриття фотолюка та ввімкнення інтервалометра здійснювалося за допомогою окремого пульта керування.



Рис. 1. Загальний вигляд БПЛА “Пегас”



Рис. 2. Комплекс навігаційного обладнання для БПЛА “Пегас”

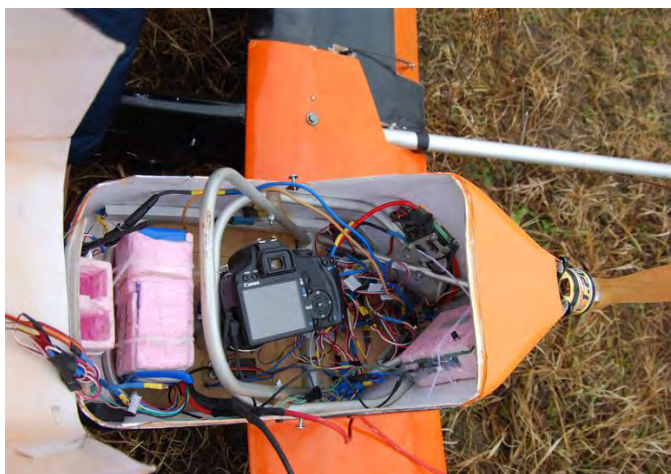


Рис. 3. Загальний вигляд розташування цифрової камери та інтервалометра (праворуч) у фюзеляжі літака

Другий етап експериментальних робіт складався з двох частин. У грудні 2011 р. було виконано аерознімання тієї ж ділянки села Колонщина Київської області. Основним завданням експерименту було дослідження точності пілотування під час проходження паралельних маршрутів довжиною 1000 метрів на висоті польоту 300 метрів відносно точки старту (рис. 4). Маршрути було побудовано за наземними орієнтирами, контроль літака здійснював оператор з землі візуально.



Рис. 4. Схема переміщення БПЛА під час кабрирування, заходження на маршрути, проходження маршрутів та глісади

Не зважаючи на те, що польоти відбувалися за умови вітру силою 8–10 м/с, який на маршруті мав бічну складову до 6 м/с прямолінійність та точність проходження маршрутів з першої ж спроби було дотримано з високою точністю. Також задовільним було дотримання висоти та швидкості польоту (рис. 5).

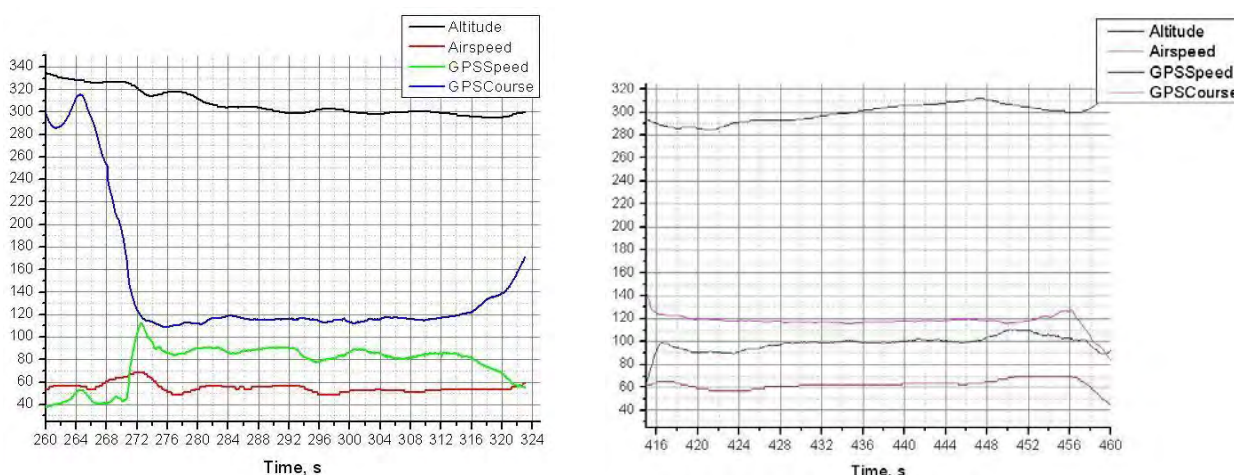


Рис. 5. Діаграми параметрів польоту БПЛА

На якість отриманих матеріалів вплинула неправильна оцінка швидкості та напрямку вітру на висоті польоту, що призвело до неправильної оцінки кута зносу і, відповідно, неправильної орієнтації фотокамери відносно осі літака (рис. 6).

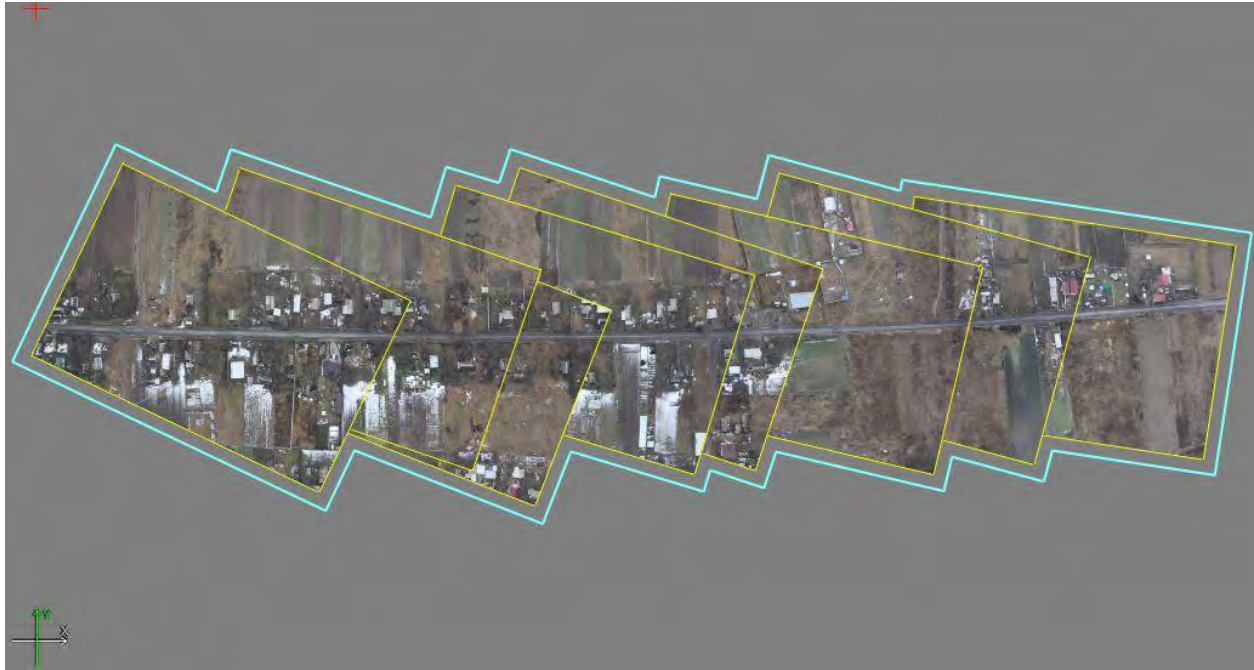


Рис. 6. Накидний монтаж I маршруту
(кут зносу становить 15 до 20 градусів)

Другу частину робіт проводили у квітні 2012 р. в смт Рудники Миколаївського р-ну Львівської області. Метою цієї частини експериментальних робіт було відпрацювання технології аерознімальних робіт у сільському населеному пункті та отримання кондиційних фотоматеріалів ділянок сільської забудови. Роботи виконувались за сприятливих погодних умов – відсутність хмарності та вітер силою до 5 м/с. Протягом льотного дня було виконано 5 польотів з непідготовлених майданчиків. Деякі зльоти і посадки відбувалися просто з вулиць села. Впродовж 30 хв польотів з висоти 300 м було зазнімковані маршрути загальною довжиною близько 6 км (проте деякі з них неодноразово з метою вдосконалення технології навігації та знімання).

Діаграми параметрів польоту демонструють високу точність навігації впродовж проходження більшості маршрутів (рис. 7).

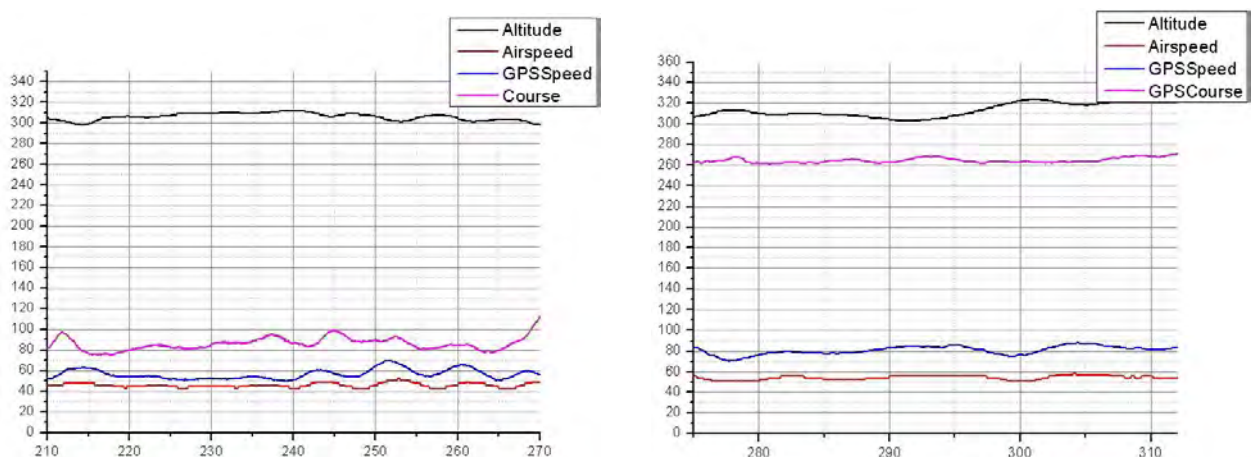


Рис. 7. Діаграми параметрів польоту

Результати накидного монтажу наведені на рис. 7 та 8.



Рис. 8. Накидний монтаж маршруту (вісь маршруту – вулиця)



Рис. 9. Накидний монтаж, вул. Лісна

Для правильної орієнтації камери відносно повздовжньої осі літака з урахуванням кута зносу розроблено та впроваджено методику експрес-оцінки швидкості та напрямку вітру на висоті польоту, яка полягає у такому:

для визначення швидкості і напрямку вітру проаналізуємо залежність різниці між показниками барометричної і GPS швидкості залежно від напрямку шляхової швидкості на різних висотах польоту. Бачимо, що апроксимуюча крива має яскраво виражений синусоїдальний характер.

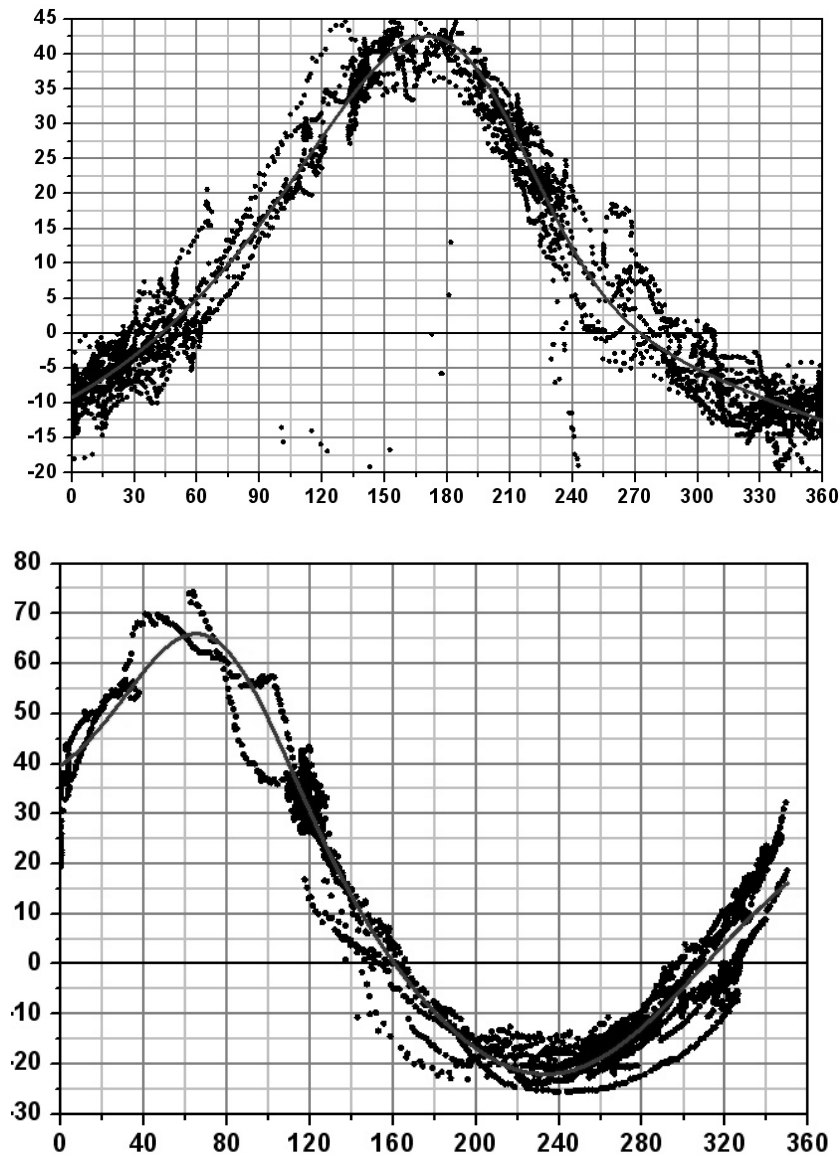


Рис. 10. Різниця показників повітряної швидкості та швидкості за даними GPS залежно від напрямку шляхової швидкості для різних польотів

Екстремуми цих кривих вочевидь відповідають моментам польоту за вітром, та з курсом, протилежним вітру. Абсиси цих графіків, що відповідають екстремумам, визначатимуть курс та азимут вітру відповідно. Швидкість вітру у цих випадках може бути розрахована за формулою

$$V_v = \frac{(\Delta_V^{\max} - \Delta_V^{\min})}{2},$$

де V_v – швидкість вітру, Δ_V^{\max} – максимальне значення різниці барометричної і GPS швидкостей, Δ_V^{\min} – мінімальне значення різниці барометричної і GPS швидкостей.

Оскільки телеметрична інформація інтерактивно передається оператору в реальному режимі часу, у перспективі за допомогою цієї методики планується реалізувати напівавтоматичне, або автоматичне керування кутом встановлення камери в польоті.

Для подальшого опрацювання зображень було виконано розряджену планово-висотну прив'язку двох зроблених маршрутів за допомогою GPS приймачів у режимі RTK, відповідно б

точок на кожний маршрут. Окрім того, визначені координати контрольних точок відповідно 5 на першому маршруті та 6 на другому. Після проведення згущення та орієнтування зображень зроблена оцінка точності і визначені СКП, які становили: для планових координат – 30–50 см, для висотної до 1 м. Ці фактично незадовільні результати пояснюються такими факторами:

1. Змазування зображення під час виконання експозиції: необхідно було виставити ручні параметри камери.
2. Незадовільні кути нахилу (більше ніж 12 градусів).
3. Не завжди задовільне повздовжнє перекриття знімків: нестабільна шляхова швидкість літака.

Стосовно кута зносу, то ця проблема вирішена.

Отже, щоб позбутися цих негативних явищ, необхідно стабілізувати літак, що дасть можливість зменшити кути нахилу та оптимізувати перекриття зображень.

Висновки. Результати експериментальних робіт дозволяють зробити такі висновки:

- безпілотний літак “Пегас” показав відповідність заявленим характеристикам, стабільну роботу бортового обладнання;
 - захист систем літака та аерофотопристрою забезпечений на належному рівні і дозволяє надійну експлуатацію з непідготовлених майданчиків в реальних умовах сільських населених пунктів;
 - дистанційне керування літаком “Пегас” відповідно до запропонованої технології дозволяє в зоні прямої видимості витримувати з прийнятною для задач аерофотографування точністю маршрути довжиною до 1000м на висоті польоту 200 – 500 м.
 - стабілізація літака в каналі крену є припустимою, але потребує покращення;
 - потребує вдосконалення технологія зльоту з екстремально малих та оточених перешкодами ділянок;
 - потребує відпрацювання технологія пілотування за відеокarti з борту літака з метою розширення радіуса дії літака;
 - доцільна розробка та відпрацювання технології польоту літака в напівавтоматичному та автоматичному режимах;
 - необхідно забезпечити можливість дистанційного керування орієнтацією фотокамери в автоматичному, або напівавтоматичному режимі.
- Аналіз накидних монтажів дозволяє зробити такі висновки:
- прямолінійність маршрутів знімання дотримано на прийнятному рівні;
 - відзначається нерівномірність перекриття знімків та кута зносу, що пояснюється нерівномірністю сили та напрямку вітру на висоті впродовж польоту;
 - подекуди спостерігаються короткотермінові кидки літака в каналі крену на величину до 12 градусів, проте через запрограмоване надлишкове перекриття це не вплинуло на загальні результати знімання.

1. Козуб А.М., Суворова Н.О., Чернявський В.М. Аналіз засобів збору інформації для географічних даних інформаційних систем // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 3(27). – С.42–47. 2. D. Mihajlović, M. Mitrović, Ž. Cvijetinić, M. Vojinović. Photogrammetry of archaeological site felix romuliana at gamzigrad using aerial digital camera and non-metrick digital camera. The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Part B5, Beijing – 2008. – P. 397–399. 3. БПЛА: застосування в цілях аерофотознімання для картографування. [http://www.uasresearch.com/UserFILES/156-181 Referens-Section UAS All-Categories&Classes.pdf](http://www.uasresearch.com/UserFILES/156-181%20Referens-Section%20UAS%20All-Categories&Classes.pdf).