

К.А. Мамонов¹, В.С. Ковальчук², В.І. Троян¹¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна²Сумський національний аграрний університет, Україна

ОСОБЛИВОСТІ АЕРОФОТОЗЙОМКИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ КАПРЕМОНТУ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Аналізуються особливості аерофотознімання автомобільних доріг для їх капітального ремонту або реконструкції за допомогою бюджетних безпілотних літальних апаратів. Обґрунтовується доцільність і ефективність використання бортових навігаційних приймачів геодезичного класу точності, апробовані в умовах виробництва. Пропонується відповідна технологічна схема польових геодезичних робіт.

Ключові слова: аерофотознімання, фотограмметрія, геодезичні вишукування, реконструкція автомобільних доріг.

Постановка проблеми

Однією з важливих задач при реконструкції і капітальному ремонті автомобільних доріг є наявність актуальної інформації про геометричні характеристики об'єкта проектування, якою зазвичай слугує топографічна зйомка або зйомка породільного та поперечних профілів дороги та інших необхідних для проектування елементів.

Перевагами фотограмметричного методу в даному випадку є ефективність, наочність і актуальність матеріалів, а при дотриманні певних умов – і необхідна точність. Крім того, важливим фактором при проведенні вишукувальних робіт в зонах минулих бойових дій або прилеглих до них, є безпека виконавців.

В той же час, наявність вищевказаних очевидних переваг не відміняє необхідності дослідження досяжної точності технології і визначення можливості її використання на різних етапах інженерно-геодезичних вишукувань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У фахових наукових виданнях останніх років проблематика підвищення точності і ефективності аерофотознімання періодично піднімається і вивчається як українськими, так і іноземними авторами.

Аналіз нормативного забезпечення геодезичного супроводу в дорожньому будівництві в статті [1] вказує на застарілість існуючих нормативів, автори пропонують розробити сучасний стандарт на геодезичні роботи і контроль. Висновком статті [2] є необхідність виконання вишукувань для реконструкції автомобільних доріг з більш високою точністю, ніж при новому

будівництві. Автори статті [3] вважають перспективним безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для знімання як невеликих майданчиків, так і лінійних об'єктів. Досліджено точність складових точності при аерофотозніманні в статті [4].

В контексті підвищення точності геодезичної прив'язки аерофотознімання цікавими є дослідження кінематичних GNSS-методів (Global Navigation Satellite System), таких як RTK (Real-Time Kinematic) та PPK (Post-Processing Kinematic), у тому числі на БПЛА.

В статті [5] підтверджується можливість отримання координат із сантиметровою точністю за технологією PPK наземними GNSS-приймачами. Точність цифрових моделей місцевості за результатами зйомки з БПЛА сумісно з бортовим RTK-приймачем досліджується в публікації [6], якою доводиться висока ефективність і точність використання в обробці результатів аерофотозйомки координат, отриманих RTK-методом. В роботі [7] запропоновано використання декількох базових RTK-станцій у випадку неможливості закладення маркерів або для безпеки оператора. Застосування RTK і PPK в складних ландшафтних умовах розглядається в [8].

Використання квадрокоптерів з вбудованим RTK для зйомки лінійно-витягнутого об'єкту описане в статті [9]. Нестабільні результати були отримані згідно [10], де описано спробу поєднати бюджетну фотокамеру на борту квадрокоптера зі встановленим GNSS-приймачем з функцією PPK і декілька наземних базових станцій.

Формулювання мети статті

Щодо аерофотозйомки автомобільних доріг слід виділити наступні задачі:

- можливість використання БПЛА з точки зору ефективності технології створення матеріалів для подальшого проектування;

- вибір технологічних рішень, що забезпечують необхідну точність.

Даним дослідженням обґрунтовується використання бюджетних квадрокоптерів, обладнаних GNSS-приймачем з функцією PPK з ціллю створення як ортофотопланів, так і просторових тривимірних моделей.

В порівнянні з типовою аерофотозіомкою, що покриває площі, зйомка лінійно витягнутих об'єктів має свої особливості на різних етапах, особливо щодо планування маршрутів, знімального процесу і планово-висотної прив'язки. Деякі з таких особливостей, а також реалізовані на практиці технологічні прийоми розглядаються в даній статті.

Виклад основного матеріалу дослідження

Нормативною базою, яка встановлює необхідну точність топографічного знімання, є Інструкція з топографічного знімання ГКНТА-2.04-02-98. Її вимоги дійсні для топографічного знімання елементів ситуації та рельєфу смуги відводу та при необхідності – прилеглих територій.

Чинна «Настанова з виконання геодезичних робіт у дорожньому будівництві» (ДСТУ

9154:2021) детально описує вимоги до геодезичних робіт на етапах будівництва, але не включає передпроектних.

В той же час, ДБН А.2.1-1-2008 (Інженерні вишукування для будівництва) встановлює необхідність визначення детальності і точності знімання програмою робіт індивідуально, а при виконанні спеціальних видів робіт – допускається розроблення нових методик і технологій з обов'язковим обґрунтуванням точності.

Актуальна точність визначення відміток дорожнього одягу, що підлягає ремонту, в залежності від категорійності дороги і стану покриття, становить лічені сантиметри, що пов'язано з вимогами щодо точності розрахунків дорожнього одягу, примикань, профілів, кошторисних витрат та ін.

Наразі бортові GNSS-приймачі встановлюються або виробниками БПЛА, або ж виробниками додаткового обладнання. Комплектації БПЛА за принципом визначення координат центрів знімків схематично зображено на рис.1. Слід зауважити, що при встановленні додаткового геодезичного приймача оригінальний блок навігації залишається основним для орієнтування БПЛА в просторі і прокладанням маршруту польоту.



Рис. 1. Модифікації БПЛА за принципом визначення координат центрів знімків.

Слід зазначити, що мова в даній статті йде про одну зі складових, яка впливає на кінцевий результат, і цей вплив, в свою чергу, є предметом окремих досліджень.

Окрім точності визначення центрів знімків при побудові фотограмметричних моделей – будь то стерео чи тривимірна хмара точок – важливими є також роздільна здатність матриці фотокамери, висота знімання, метеофактори, польотні показники, елементи експонування знімку тощо. Але безсумнівно, саме точність визначення координат центрів знімків має найсуттєвіше значення у кількості маркерів, необхідних для орієнтування всієї фотограмметричної моделі.

Як було зазначено вище, різні дослідження переважно підтверджують сантиметрову точність отриманих координат центрів фотографування, яка, при дотриманні умов технології, орієнтовно коливається від 3 см до 6 см, але може бути і нижчою в залежності від низки факторів.

Власне саму можливість використання результатів аерофотознімання при автодорожньому проектуванні слід розглянути додатково.

При проектуванні капітального ремонту і реконструкції автомобільних доріг серед задач інженерно-геодезичних вишукувань можна виділити наступні:

- побудова повздовжнього профілю автомобільної дороги;

- побудова поперечних профілів із заданим інтервалом;
- зйомка профілів примикань інших доріг і з'їздів з дороги;
- суцільна зйомка ситуації в населених пунктах;
- визначення габаритів перешкод, як-то висота провисання електродротів.

На всіх цих процесах аерофотозйомка може стати якщо не основним джерелом метричної інформації, то, як мінімум, джерелом наочності і додаткового контролю. З точки зору ефективності порівняно з наземними методами знімань, аерофотозйомка може значно зекономити робочий час на польові роботи при побудові поперечних профілів, визначенні габаритів перешкод і зйомці в населених пунктах.

Так, у випадку зйомки поперечних профілів загальною проблемою є наявність деревної і

чагарникової рослинності, що вирішується аерофотозйомкою в безлистяний період.

Провисання дротів та інші габарити можна координувати фотограмметричними методами за умови правильного вибору висоти і перекриття знімків.

При зйомках в населених пунктах за рахунок перенесення основної маси робіт з польових на камеральні також зменшується витратність, забезпечується вища ефективність праці, знижуються безпекові ризики при виконанні робіт з підвищеною інтенсивністю автомобільного руху.

Один з типових варіантів технологічної схеми польових процесів аерофотознімання з використанням методів RTK і PPK на БПЛА зображений на рис.2. Дана схема, у разі необхідності, може бути доповнена й іншими елементами, як, наприклад, додаткові базові станції, у тому числі й віртуальні.

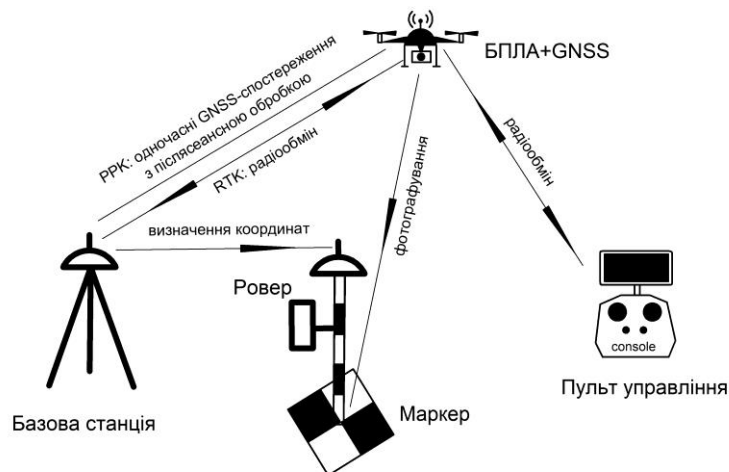


Рис. 2. Технологічна схема аерофотознімання з геодезичною прив'язкою.

Версії БПЛА з вбудованим «заводським» RTK є значно дорожчими стандартних і не позбавлені недоліку в необхідності якісного покриття мобільним зв'язком. Крім того, максимальна точність забезпечується близькістю базової станції RTK, а у разі її відсутності – власною RTK-станцією, що відповідно додає витрат на виробництво. Натомість, PPK-метод, хоч і вимагає близькості базової станції, але цією станцією може бути навіть найпростіший геодезичний приймач для роботи в статичному режимі спостережень. Альтернативою власної базової станції може бути віртуальна, дані якої можна отримати з мережевих сервісів після вимірювань.

Специфікою аерофотозйомки автомобільних доріг порівняно з нелінійними об'єктами, у випадку використання БПЛА в штатному виконанні без функцій RTK/PPK, є значні витрати на польову прив'язку маркерів. В такому випадку постає необхідність забезпечення необхідної щільності

маркерів по краях площі знімання, тобто на прилеглих до автодороги територіях, які часто є обмежено доступними або ж закладення і координування маркерів вимагає порівняно високих трудових і фінансових витрат.

Ще одним фактором вибору способу знімання є технологічні особливості GNSS-методів. Недоліком PPK у порівнянні з RTK є необхідність камеральної обробки для розрахунку точних координат. В той же час, в обох випадках можливі нефіксовані рішення при розв'язанні навігаційної задачі, що при значній кількості таких результатів призводить до незадовільних результатів аж до необхідності виконання повторного аерофотознімання. Це підтверджує рекомендацію використання більш стабільних результатів наземних вимірювань для профілювання твердого покриття. Вирішенням перелічених проблем може стати використання бортових супутникових навігаційних приймачів

геодезичного класу в комбінації з наземними методами. Один з варіантів комбінування наземних і фотограмметричних методів, який пропонується використовувати в ряді практичних завдань, зображено на рис.3.

В даному випадку методами GNSS або ж традиційними лінійно-кутовими визначаються просторові координати маркера для геодезичної прив'язки фотограмметричної моделі, а також відмітки покриття, а другорядні елементи - фотограмметричним методом. Як бачимо, відсоток пікетів, отриманих наземними методами, у даному випадку становить до 20. Такий підхід аргументований підвищеними вимогами саме до визначення відміток покриття як головного критерія в розрахунках проектних рішень для капітального ремонту чи будівництва автодороги.

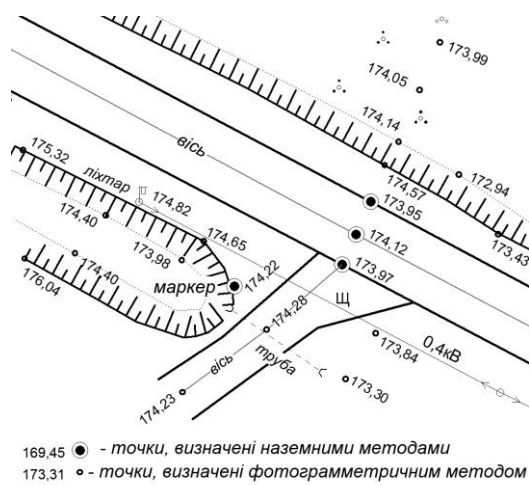


Рис. 3. Комбінування наземних і фотограмметричних методів при зйомці автодороги.

Також слід згадати альтернативний метод створення 3D-моделі дорожнього покриття – лазерне сканування. Його використання в дорожньому будівництві описане в [11]. Цей метод може комбінуватися з фотограмметричним у випадку використання рухомих платформ для сканування дорожнього одягу, а аерофотознімання може слугувати для другорядних за точністю задач для знімання прилеглої території.

Висновки

В роботі на основі результатів попередніх публікацій і власних досліджень, визначаються можливості використання безпілотного аерофотознімання з використанням бортових GNSS-приймачів. Крім того, пропонується технологічна схема геодезичних вишукувань автодоріг, яка комбінує різні геодезичні технології.

В подальших дослідженнях при обґрунтуванні необхідних умов і вдосконалення технологій і

обладнання, необхідно визначити умови досягнення максимальної точності геодезичних вишукувань для цілей будівництва, реконструкції та ремонту автомобільних доріг, що у перспективі також може бути актуальним і для інших сфер застосування.

Література

1. Батракова А.Г. Аналіз та узагальнення нормативного забезпечення з геодезичного супроводу об'єктів дорожнього будівництва / А.Г. Батракова, Є.В. Дорошко, Е.В. Захарова, О.М. Клюка // *Комунальне господарство міст. Серія Технічні науки та архітектура* – 2021. – Том 4. Вип.164. – с.99-103. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-4-164-99-103>
2. Пеньков В.О. Принципи забезпечення точності геодезичних робіт при реконструкції автомобільних доріг / В.О. Пеньков // *Містобудування та територіальне планування*. – 2014. – Вип. 53. – с.387-391.
3. Глотов В. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів / В. Глотов, А. Гуніна // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2014. – Вип.2. – с.65-70.
4. Шульц Р.В. До питання розрахунку точності визначення координат точок під час аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів / Р.В. Шульц, С.П. Войтенко, П.Д. Крельштейн, І.А. Маліна // *Інженерна геодезія*. – 2015. – Вип.62. – с.124-135.
5. Pirti, A. (2021) Evaluating the accuracy of post-processed kinematic (PPK) positioning technique. *Geodesy and Cartography*. №47(2), 66-70. DOI: <https://doi.org/10.3846/gac.2021.12269>
6. Forlani, G., Dall'Asta, E., Diotri, F., Morra di Cella, U., Roncella, R., Santise, M. (2018) Quality Assessment of DSMs Produced from UAV Flights Georeferenced with On-Board RTK Positioning. *Remote Sensing*. №10(2). <https://doi.org/10.3390/rs10020311>
7. Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F. (2023) Accuracy assessment of RTK/PPK UAV-photogrammetry projects using differential corrections from multiple GNSS fixed base stations. *Geocarto International*. №38(1). DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2197507>
8. Cledat, E., Jospin, L.V., Cucci, D.A., Skalous, J. (2020) Mapping quality prediction for RTK/PPK-equipped micro-drones operating in complex natural environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. №167, 24-38. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.05.015>
9. Taddia, Y., Stecchi, F., Pellegrinelli, A. (2019) Coastal Mapping using DJI Phantom 4 RTK in Post-Processing Kinematic Mode. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volume XLII-2/W13. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-625-2019>
10. Famiglietti, N.A., Cecere, G., Grasso, C., Memmolo, A., Vicari, A. (2021) A Test on the Potential of a Low Cost Unmanned Aerial Vehicle RTK/PPK Solution for Precision Positioning. *Sensors*. №21. <https://doi.org/10.3390/s21113882>
11. Мамонов К.А. Системи лазерного сканування в геоінформаційних технологіях / К.А. Мамонов, К.І. Вяткін, С.Г. Несцеренко // *Комунальне господарство міст. Серія Технічні науки та архітектура* – 2016. – Вип. 132. – с.121-126.

References

1. Batrakova, A., Dorozhko, Y., Zakharova, E., Kliuka, O. (2021) Analysis and generalization of regulatory support for geodesic support of road construction objects. *Municipal economy of cities. Series: Engineering science and architecture*.

- Vol.4, no.164, p.99-103. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-4-164-99-103>
2. Penkov, V. (2014) Pryntsypy zabezpechennia tochnosti heodezychnykh robit pry rekonstruktsii avtomobilnykh dorih. *Urban development and spatial planning*. No.53, p.387-391.
 3. Glotov, V., Gunina, A. (2014) Possibilities of for UAVs for aerophotographic processes. *Modern achievements of geodesic science and industry*. No.2, p.65-70.
 4. Schultz, R., Voytenko, S., Krelshteinn, P., Malina, I. (2015) The issue of calculating points positioning accuracy for aerial photographs from unmanned aerial vehicles. *Engineering geodesy*, 62, p.124-135.
 5. Pirti, A. (2021) Evaluating the accuracy of post-processed kinematic (PPK) positioning technique. *Geodesy and Cartography*. Vol.47, no.2, p.66-70. DOI: <https://doi.org/10.3846/gac.2021.12269>
 6. Forlani, G., Dall'Asta, E., Diotri, F., Morra di Cella, U., Roncella, R., Santise, M. (2018) Quality Assessment of DSMs Produced from UAV Flights Georeferenced with On-Board RTK Positioning. *Remote Sensing*. №10(2). <https://doi.org/10.3390/rs10020311>
 7. Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F. (2023) Accuracy assessment of RTK/PPK UAV-photogrammetry projects using differential corrections from multiple GNSS fixed base stations. *Geocarto International*. №38(1). DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2197507>
 8. Cledat, E., Jospin, L.V., Cucci, D.A., Skaloud, J. (2020) Mapping quality prediction for RTK/PPK-equipped micro-drones operating in complex natural environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. №167, 24-38. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.05.015>
 9. Taddia, Y., Stecchi, F., Pellegrinelli, A. (2019) Coastal Mapping using DJI Phantom 4 RTK in Post-Processing Kinematic Mode. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volume XLII-2/W13. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-625-2019>
 10. Famiglietti, N.A., Cecere, G., Grasso, C., Memmolo, A., Vicari, A. (2021) A Test on the Potential of a Low Cost

Unmanned Aerial Vehicle RTK/PPK Solution for Precision Positioning. *Sensors*. №21. <https://doi.org/10.3390/s21113882>

11. Mamonov, K., Vyatkin, K., Nesterenko, S. (2016) Mobile systems laser scanning geoinformation technologies. *Municipal economy of cities. Series: Engineering science and architecture*. Vol.132, p.121-126.

Рецензент: доктор технічних наук, професор, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем К.О. Метешкін, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: МАМОНОВ Костянтин Анатолійович
доктор економічних наук, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail - kostia.mamonov2017@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0797-2609>

Автор: КОВАЛЬЧУК Василь Степанович
старший викладач кафедри геодезії та землеустрою
Сумський національний аграрний університет
E-mail - vasyl.kov.sumy@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1394-7008>

Автор: ТРОЯН Владислава Ігорівна
доцент кафедри менеджменту і публічного адміністрування
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail - troyan.vlada@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2142-2873>

THE FEATURES OF AERIAL PHOTOGRAPHY FOR ROAD REPAIR OR RECONSTRUCTION

K. Mamonov¹, V. Kovalchuk², V. Troian¹

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

²Sumy National Agrarian University, Ukraine

This study formulates some of the actual problems that arise during engineering and geodetic survey for designing road repair and reconstruction. An analysis of the regulatory requirements currently in force in Ukraine for carrying out this type of work has been carried out, it has also been concluded that at present they do not keep up with the latest technologies. Studied publications describing the use of unmanned aerial vehicles (UAV). Classified navigation satellite receivers are installed on UAVs, for the purpose of determining coordinates. Particular attention is paid to the installation on the carrier of geodetic class navigation equipment using kinematic GNSS (Global Navigation Satellite System) technologies, such as RTK (Real-Time Kinematic) and PPK (Post-Processing Kinematic). These technologies allow us to determine the spatial coordinates of the centers of photos at the time of photographing with centimeter accuracy, which greatly simplifies the adjustment of digital photogrammetric models and increases their accuracy. But the most important advantage is a significant reduction in field surveying, which makes them less expensive and more efficient overall. In the course of the study, it was found that in conditions of limited access to nearby territories, insufficient stability of the results of determining the centers of images can affect the final quality of products. For cases where the maximum achievable accuracy is at the limit of the possibility of photogrammetric technology, the removal of the most critical elements is proposed to be combined by combining aerial photography technologies with ground technologies. The road's hard surface surveying can be performed by ground geodetic methods (tachymetric or GNSS), and by modern laser scanning. At the same time, the adjacent territory, regarding the shooting of elements of which less stringent requirements are established, can be worked out by aerial photography. In further studies, it is necessary to determine the conditions for achieving the maximum accuracy of UAV photogrammetry.

Keywords: aerial photography, photogrammetry, geodetic survey, reconstruction of highways.