

УДК 004.93:528.023:355.404.4

DOI: 10.18372/2310-5461.36.12226

**О. Г. Піскунов**

канд. фіз.-мат. наук.

Національний авіаційний університет

orcid.org/0000-0002-9200-3424

e-mail: agp1.ua@gmail.com;

**І. А. Юрчук**

канд. фіз.-мат. наук, доц.

Національний авіаційний університет

orcid.org/0000-0001-8206-3395

e-mail: iyurch@ukr.net;

## НАНЕСЕННЯ ФОТОМАТЕРІАЛІВ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ НА РАСТРОВІ КАРТИ ВІДКРИТИХ КАРТОГРАФІЧНИХ СЕРВІСІВ

### Вступ

Розвиток технічних засобів для фотозйомки та моніторингу за допомогою БПЛА привів до необхідності обробки фотоматеріалів практично повсякдення. Ключовою підзадачею процесу обробки фотоматеріалу є завдання нанесення фотографії на карти місцевості, розв'язання якої сприяє вирішенню питань актуалізації карт, створення фотопланів місцевості, моніторингу та ін.

### Огляд досліджень і публікацій

У працях [1]–[3] авторами сформульовано актуальність даної тематики, а також окреслено деякі підходи до розв'язання задач даного типу. Основні алгоритми, що використовуються у статті, були опубліковані у працях [4]–[5], а отримані результати апробувались у тезах доповідей [6]–[8].

### Постановка проблеми

Розглянемо Світову Геодизичну систему координат 1984 року (СГК), у якій камера літального апарату має координати  $(B_{BLA}, L_{BLA}, z_{BLA})$ , де  $B_{BLA}$  — широта фокуса камери;  $L_{BLA}$  — довгота фокуса камери та  $z_{BLA}$  — висота фокуса камери над поверхнею загальносвітового еліпсоїда.

Розглянемо також систему координат  $\xi\eta\zeta O'$ , де точка  $O'$  — центр маси БПЛА. Вісь  $\xi$  (вісь обертання, англ. *roll*) спрямована від хвоста БПЛА до носа в нормальному напрямку польоту, вісь  $\eta$  (вісь тангажу, англ. *pitch*) спрямована ліворуч праворуч відносно пілота і паралельно крила, а вісь  $\zeta$  (вісь нишпорення, англ. *yaw*) спрямована зверху вниз і перпендикулярна до двох інших осей.

Відомо наступні кути:  $\omega$  — поворот БПЛА навколо осі  $\xi$ ,  $\varphi$  — поворот БПЛА навколо осі  $\eta$  і  $\kappa$  — поворот БПЛА навколо осі  $\zeta$ . Дані кути називають кутами орієнтування БПЛА.

Нехай отримано дані  $(photo, B_{BLA}, L_{BLA}, z_{BLA}, \omega, \varphi, \kappa)$ , де *photo* — цифровий знімок;  $(B_{BLA}, L_{BLA}, z_{BLA})$  — координати БПЛА та  $(\omega, \varphi, \kappa)$  — кути орієнтування БПЛА в просторі у момент фіксації зображення.

**Мета дослідження** — розробка інформаційної технології, яка забезпечує нанесення знімків, отриманих камерою БПЛА, на растрові карти відкритих географічних сервісів. Узгодження карт зі знімком має відбуватися після їх проектування на площину, яка дотична до поверхні землі в точці з координатами фокуса камери.

### Основний теоретичний матеріал

Дане програмне забезпечення є продовженням досліджень, що виконувались у працях [4] та [5]. Оскільки проектування знімків на площину відбувається у декартовій (насправді, у декартовій метричній) системі координат, то важливим є вирішення питань перетворення координат з деякої декартової метричної системи у градуси СГС. Як остання була обрана достатньо поширена і проста Система Координат 1942 р. (надалі, СК42). Перерахунок проводився за формулами праці [9]. Для оцінки похибки на листках картах СК42 з номенклатурою М-36-054 і М-36-049 кілометрового масштабу було обрано близько сотні точок і записані їх координати.

Для обраних точок на сервісах Яндекс. Карти і Google.Мар були знайдені їх координати в СГС. Далі, за допомогою утиліти cs2cs.exe (див. [10]) їх координати були обчислені в СК42. Різниця обчислених координат точок порівняно з координатами цих самих точок на картах у середньому становить 130 метрів відхилення по лінії захід-схід та 45 метрів по лінії південь-північ. Результати досліджень були опубліковані у доповіді [8]. Планується провести такий самий чисельний експеримент на картах стометрового масштабу.

Питання відображення координат СГС на площину (у проекції Меркатора, у випадку Яндекс. Карт і в проекції Web Меркатора у випадку OpenStreetMap [11]) були вирішені у програмному комплексі RasterMap, описаний у працях [6]–[7]. Слід зазначити, що сам комплекс був представлений на Міжнародному IT-чемпіонаті «Золотої Байт 2017».

**Опис програмного забезпечення (ПЗ).** «Програмний Комплекс Прив'язки Знімків до Карти» будемо позначати PMSO і розроблявся на мові C# з використанням .NET версії 4.0, як частина бібліотеки демонстрації обчислень на еліпсоїдах elGeo [12] та складається із таких класів:

- перерахунок між геодезичними системами координат і координатами в проекціях Меркатора для різних картографічних сервісів;
- перерахунок координат між СГС (так само як і Системою координат Параметри Землі) і ре-

ференціальною системою координат 1942 р. на еліпсоїді Красовського;

- перерахунок координат між референціальною системою координат 1942 р. і координатами точок на площині в проекції Гауса–Крюгера в метрах. Саме ці координати позначають через СК42;

- центрального проектування знімку на площину (projection of aerial picture to the plane).

Крім того в «Програмний Комплекс Прив'язки Знімків до Карти» також входять такі додаткові компоненти:

- утиліта — тестуючий модуль для проектування знімків на площину [4], яку позначимо u.PAP. Зазначимо, що минула версія приймає на вихід дані в декартовій системі координат. Для тестування використовувалась СК42. Дана версія утиліти u.PAP працює з координатами СГС і, одночасно з проектуванням знімку, може створювати файли географічної реєстрації (світової прив'язки). За допомогою яких виконується перерахунок між пікселями спроектованого знімка і координатами даного пікселя на місцевості. На схемі основних потоків даних (рис. 1) цей факт відображається наявністю ще одного файлу 'номер\_кадра.jpgw'. Цей файл містить коефіцієнти поліноміального перетворення першого порядку. Детальніше формат файлу в [13].
- утиліта для нанесення фотоматеріалів на растрові карти (Яндекс. Карти або imageOnMap), позначення — u.imMap.

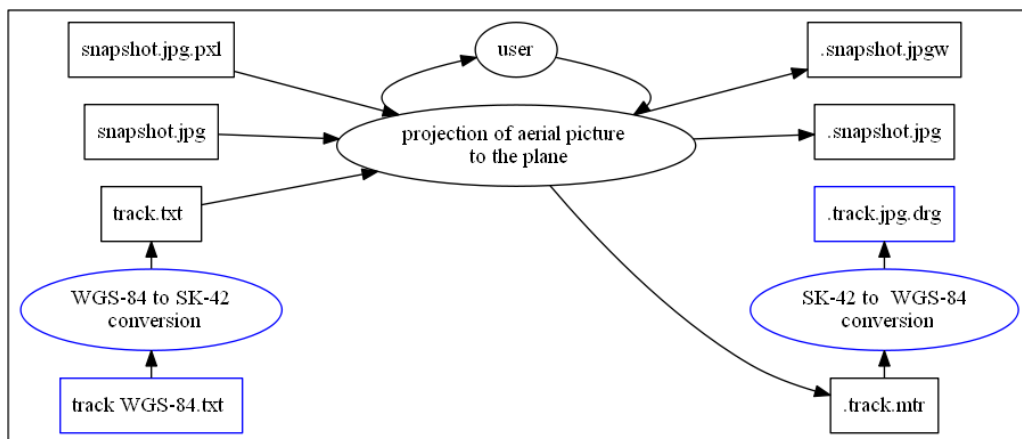


Рис. 1. Основні потоки даних u.PAP: еліпси означають процеси, а прямокутники — дані

**Проектування знімка на площину**

Вхідні дані для роботи основної компоненти PMSO мають таку структуру:

1. Файли 'номер\_кадра.jpg' — послідовність знімків, спроектованих на площину (точка на початку імені файлу входить у назву) в одному із загальноприйнятих форматів;

2. Файли 'номер\_кадра.jpgw' — послідовність файлів географічної реєстрації для відповідних знімків;

3. Файли 'track.dgr'(проекції точок інтересу) — текстовий CSV — файл, кожна строчка якого має наступний формат:

- строчка — ім'я файлу, що містить знімок БПЛА у поточній точці;

- строчка — унікальний ідентифікатор точки;
- координата на північ — градус північної широти в СГС;
- координата на схід — градус східної довготи в СГС;
- опціонально, додаткові данні для оцінки точності перетворення. До них відносяться: відс-

тань від координат фокуса, загальний кут нахилу камери і так далі;

- зауваження до точки.

### Нанесення фотоматеріалів на растрові карти

Потоки даних утиліти для нанесення фотоматеріалів на растрові карти (spatial overlay of aerial photos and map) u.imMap показані на рис. 2.

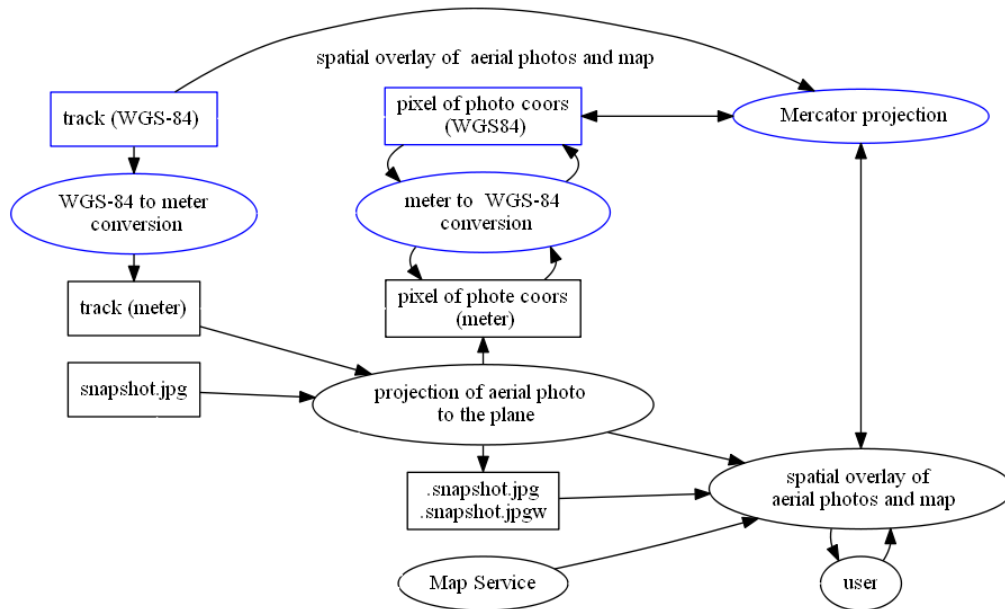


Рис. 2. Потік даних утиліти u.imMap: еліпси означають процеси, а прямокутники — дані

Оскільки для проектування знімку потрібна висота фокуса камери над рівнем землі, а у вхідних даних є висота БПЛА над загальноосвітним еліпсоїдом, утиліта має спеціальний параметр для корекції висоти. Як джерело растрових карт можна задавати сервіс Яндекс.Карты або OpenStreetMap. Карта може відображатись у вигляді одного (256 на 256 пікселів) або чотирьох тайлів (512 на 512 пікселів). Утиліта надає можливості переміщення по послідовності знімків, зміни масштабу карти та переміщення по карті. В елементі управління Windows «Строка стану» відображається рівень масштабу, координати фокуса камери для даного знімку і розміри пікселю в метрах.

Загальний алгоритм обробки утилітою u.imMap кожної координати вхідного треку:

- координати  $i$ -ої точки треку перераховуються в СК42;
- для даної точки будується об'єкт перетворення фотографії, за допомогою якого створюється спроектована фотографія *.snapshot.jpg<sub>i</sub>*; і її файл географічної реєстрації *snapshot.jpgw<sub>i</sub>*. За допомогою його кое-

фіцієнтів отримуємо взаємнооднозначне відображення між метрами СК42 і пікселями фотографії;

- для фотографії будується область бачення камери  $V_i$  як чотири точки з координатами в СК42, і мінімальний прямокутник  $R_i$  (зі сторонами паралельними осям координат), який містить область бачення;

• координати області бачення  $V_i$  перераховуються в координати градусів СГС. Потім, із врахуванням вибраного масштабу, проектується в пікселі карти. Область бачення на растровій карті позначимо через  $VM_i$ . Зауважимо, що при цьому, одночасно отримуємо положення і розмір відповідного прямокутника на растровій карті  $RM_i$ ;

- обчислюємо наближений розмір пікселя растрової карти в метрах у проекції СК42 уздовж лінії південь–північ  $s_{nord}$  і вздовж захід–схід  $s_{east}$  (слід зауважити, що в обох проекціях, що використовуються, розміри пікселя карти вміщуються по мірі зміщення на північ);

- рухаючись уздовж прямокутника  $R_i$  з кроком  $s_{nord}$  на північ і кроком  $s_{east}$  на схід (позначимо точку, що обчислюється, через  $(X_{i,nord}, Y_{i,east})$ ) за допомогою її файлу географічної реєстрації *snapshot.jpgw<sub>i</sub>*, отримаємо колір відповідного пікселя на спроектованій фотографії *snapshot.jpg<sub>i</sub>*;
- координати точки  $(X_{i,nord}, Y_{i,east})$  перераховуємо в координати СГС, а потім в координати пікселя поточної растрової карти.

Цей піксель карти із прямокутника  $RM_i$  розфарбовуємо кольором пікселя спроектованого знімка.

Після закінчення роботи u.imMap пікселі растрової карти із  $RM_i$  виявляються розфарбованими у кольори спроектованої фотографії, що означає нанесення фотографії на карту.

Приклад роботи утиліти можна подивитись на рис. 3.

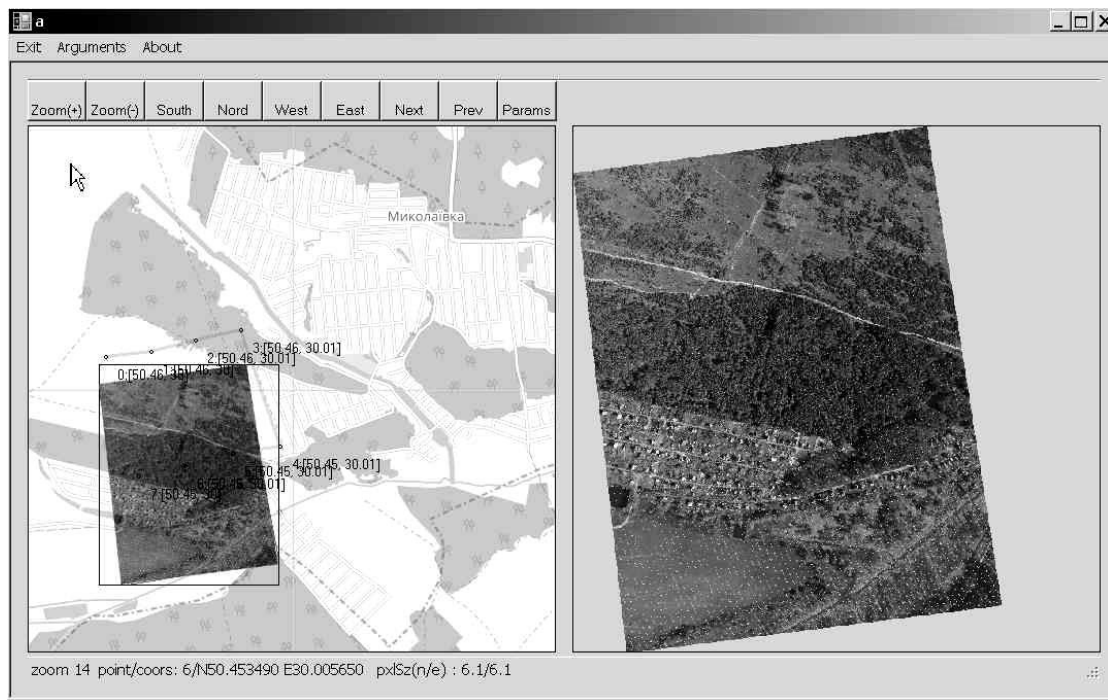


Рис. 3. Приклад нанесення фотоматеріалів на растрову карту

Швидкість проектування кадру поки що далека до задовільної для інтерактивної програми, оскільки проектування реального БПЛА на середніх комп'ютерах виконується за час близько 1500 с.

Проте згідно з оцінками [14] можна отримати більше ніж десятикратне пришвидшення обробки одного знімку.

Для оцінки відхилення позиціонування розробляється набір утиліт: утиліта для отримання тестових даних (test data creation — TDCU), яка дозволяє отримати координати деяких точок на знімках у пікселях так само як і координати деяких точок на растрових цифрових картах місцевості та утиліта для обчислення відхилення позиціонування.

## Висновки

У статті висвітлюється розроблене ПЗ, яка забезпечує нанесення знімків, отриманих камерою БПЛА, на растрові карти відкритих географічних сервісів. Його тестування показало недостатньо високу швидкість у режимі реального часу. Проте, отримані оцінки дозволяють стверджувати про можливість його інтерактивного використання.

Перспективою подальшого дослідження є створення ПЗ, яке працює у режимі реального часу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. **Карпов Д. П.** Сшивка изображений, полученных в результате аэрофотосъёмки. — 2012. — С. 25. — Режим доступа: <https://archive.li/o/fiaQi/is.ifmo.ru/projects/2012/karpov/description.pdf>.
2. **Желтов С. Ю.** Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения

беспилотных маневренных летательных аппаратов / С. Ю. Желтов, К. К. Веремеенко, Н. В. Ким, Д. А. Козорез и др.; под ред. М. Н. Красильщикова, Г. Г. Серебрякова. — М. : Физматлит, 2009. — 556 с.

3. **Нечаусов А. С.** Методика создания мозаики изображений на основе данных беспилотного летательного аппарата / А. С. Нечаусов, О. О. Замирец // Системи обробки інформації Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. — 2015. — № 8 (133). — С. 51–56.

4. **Піскунов А. Г.** Об одной реализации алгоритма центрального проецирования прямоугольника на плоскость / А. Г. Піскунов, И. А. Юрчук, Л. В. Белянская // Тези доповідей XIII міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-2017» // Інформаційні системи та технології в авіаційній галузі. — К. : НАУ, 2017. — С. 2415.

5. **Піскунов О. Г.** Визначення області бачення камери при аерофотозйомці / О. Г. Піскунов, І. А. Юрчук, Л. В. Білянська // Наукоємні технології. — 2017. — Т. 35, № 3. — С. 204–208. doi.org/10.18372/2410-5431.35.11839 (ukr).

6. **Піскунов О. Г.** Оглядач треків, що використовує відкриті картграфічні сервіси. / О. Г. Піскунов, В. Ю. Лавринович // LXXXIII-а наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. — К. : НТУ, 2017. — С. 400–401.

7. **Лавринович В. Ю.** Накладання треків з GPS-координатами на растрові карти відкритих тайлових сервісів // Тези XVI міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студен-

тів «Політ. Сучасні проблеми науки. Інформаційно-діагностичні системи». — К. : НАУ, 2016. — С. 153.

8. **Сторчак М. Е.** Підготовка тестових даних для оцінки похибок процедури знаходження області видимості камери безпілотного повітряного судна / М. Е. Сторчак, Д. В. Желєзнякова // Тези доповіді XVII міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Політ. Сучасні проблеми науки. Інформаційно-діагностичні системи». — К. : НАУ, 2017. — С. 104.

9. ГОСТ Р 51794-2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразования координат определяемых точек, 2009. — Режим доступа: <http://ingeo-pro.ru/upload/SNIP/gost-r-51794-2008.pdf>.

10. **Gerald Evenden.** PROJ.4 / Gerald Evenden, Frank Warmerdam. — Режим доступа: <http://trac.osgeo.org/proj>.

11. Open Street Map Project. — Режим доступа: [http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main\\_Page](http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page).

12. **Піскунов О. Г.** Бібліотека обчислень на еліпсоїді / О. Г. Піскунов, С. Р. Сулейманова, С. С. Матвієнко, К. М. Грінченко // LXXXIII-а наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. — К. : НТУ, 2017. — С. 400.

13. Gis-Lab. Формат файла географической регистрации (world-файл). — Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/tfw.html>.

14. **Сотник М. Е.** Работа с растром на низком уровне для начинающих. — Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/196578/>.

**Піскунов О. Г., Юрчук І. А.**

### **НАНЕСЕННЯ ФОТОМАТЕРІАЛІВ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ НА РАСТРОВІ КАРТИ ВІДКРИТИХ КАРТОГРАФІЧНИХ СЕРВІСІВ**

*У даній статті представлено інформаційну технологію, яка забезпечує нанесення знімків, отриманих камерою безпілотного літального апарату, на растрові карти відкритих географічних сервісів. Таке програмне забезпечення сприяє вирішенню питань актуалізації карт, спостереження за врожайністю сільськогосподарських полів, створення фотопланів місцевості, моніторингу та ін. «Програмний Комплекс Прив'язки Знімків до Карт» розроблений мовою C# з використанням .NET версії 4.0. Усі алгоритми, що використовувалися під час розробки комплексу, детально описані, а також представлені схеми потоків даних утиліт, із яких складається комплекс. Не зважаючи на те, що тестування даного комплексу показало недостатньо високу швидкість у режимі реального часу, отримані оцінки дозволяють стверджувати про можливість його інтерактивного використання за умов подальшого доопрацювання.*

**Ключові слова:** БПЛА; фотоматеріали літального апарату; растрові карти; відкриті картографічні сервіси; накладання карт.

**Піскунов А. Г., Юрчук І. А.**

### **СОВМЕЩЕНИЕ ФОТОМАТЕРИАЛОВ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С РАСТРОВЫМИ КАРТАМИ ОТКРЫТЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ СЕРВИСОВ**

*В данной работе представлена информационная технология, которая обеспечивает согласование снимков, полученных камерой беспилотного летательного аппарата и растровых карт открытых географических сервисов. Такое программное обеспечение способствует решению вопросов актуализации карт, наблюдения урожайности сельскохозяйственных полей, создание фотопланов местности, мониторинга и др. «Программный Комплекс привязки Снимков к Карте» разработан на языке C# с использованием .NET версии 4.0.*

*Все алгоритмы, которые были использованы при разработке комплекса, подробно описаны, а также представлены схемы потоков данных утилит, из которых состоит комплекс. Несмотря на то, что тестирование данного комплекса показало достаточно не высокую скорость в режиме реального времени, полученные оценки позволят утверждать о возможности его интерактивного использования в условиях дальнейшей доработки.*

**Ключевые слова:** БПЛА; фотоматериалы летательного аппарата; растровые карты; открытые картографические сервисы; совмещение карт.

**Piskunov O., Yurchuk I.**

### **SPATIAL OVERLAY OF THE AERIAL PHOTO MATERIALS WITH THE RASTER MAPS OF OPEN CARTOGRAPHIC SERVICES**

*In the article the information technology is researched, which provides a spatial overlay of the images received by the camera of an unmanned aerial vehicle, and raster maps of open geographic services. Such software helps to solve issues of actualization of maps, observation of agricultural field yields, creation of terrain photoplanes, monitoring, etc. "The Maps Snapshot Complex Suite" is developed in C # using .NET 4.0. All the algorithms that were used during the development of the complex are described in detail, as well as the flow diagrams of the data utilities from which the complex is composed. Despite the fact that the testing of this complex has shown a poorly high speed in real time, the estimates will allow the possibility of its interactive use under conditions of further refinement.*

**Keywords:** UAV; photomaterials of the aircraft; raster cards; open cartographic services; map overlays.

Стаття надійшла до редакції 27.11.2017 р.

Прийнято до друку 29.11.2017 р.

Рецензент — д-р техн. наук, проф. Приставка П. О.