

УДК 528.9

## МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ЗАСОБАМИ ГЕОІНФОРМАТИКИ КАРТОГРАФІЧНОГО ШАРУ КОНТУРІВ БУДІВЕЛЬ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ВЕЛИКОМАСШТАБНОГО АЕРОЗНІМАННЯ МІСЦЕВОСТІ З БПЛА

**І. Колб**

Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** геоінформаційне картографування, інтеграція фотограмметричних технологій у ГІС, геоінформаційний аналіз моделі видимої поверхні DSM, цифрові моделі місцевості високого розрізнення, векторний топографічний план, 2D building outline.

### Постановка проблеми

Завдання виготовлення векторного геоінформаційного шару контурів будинків із аерознімків актуальне для усіх виробників великомасштабної картографічної продукції. Досі немає простого й ефективного рішення, яке б враховувало особливості сучасних видів аерознімків, зокрема з БПЛА, та наявність програмних модулів створення моделей поверхні місцевості високої щільності DSM, моделі рельєфу DTM та ортофотопланів безпосередньо в інструментальних ГІС. Тому логічним є пошук для залучення цієї інформації для геоінформаційного аналізу з метою вирішення описаної проблеми.

### Виклад основного матеріалу проблеми

#### Аналіз досліджень та невирішені частини загальної проблеми

У загальній тенденції розвитку геоматики – науково-технічного напрямку, який об'єднує методи і засоби технології збирання, оброблення і використання просторових даних, одним з помітних явищ стала інтеграція методів цифрової фотограмметрії у середовище геоінформаційних систем [1]. У склад програмних комплексів ГІС вводяться програмні фотограмметричні інструменти, які забезпечують отримання високоточної тривимірної інформації про склад та геометричні параметри об'єктів місцевості зі знімків, отриманих різнотипними знімальними системами. Приклади такої інтеграції можна спостерігати в актуальних версіях як відкритого, так і пропрієтарного програмного забезпечення ГІС. Наприклад, до складу ГІС ArcGIS входить програмний модуль Drone2Map – розроблений на основі технологій компанії Pix4D програмний продукт, який дає змогу виконувати повний цикл автоматичного фотограмметричного опрацювання аерознімків [2, 3]. Масиви геоінформації – дво- та тривимірні моделі об'єктів і місцевості, ортофотоплани, векторні картографічні дані тощо

отримують відразу в структурах і форматах конкретної інструментальної ГІС. Це вигідно відрізняє інтегровані рішення від традиційного імпорту в ГІС таких даних, отриманих спеціалізованим фотограмметричним програмним забезпеченням. Звичайно, його провідна роль як постачальника даних цифрових фотограмметричних станцій зберігається під час виконання складних фотограмметричних проектів, наприклад оброблення отриманих повноформатними камерами знімків, забезпечення збирання даних операторами-фотограмметристами у стереорежимі тощо. Зрештою, дані, отримані на ЦФС, теж, як правило, передаються для подальшого аналізу та візуалізації в геоінформаційні системи.

Отже, інтегрування фотограмметричних методів та геоінформаційних технологій забезпечує геоінформаційні системи можливостями оперативного отримання цифрових моделей місцевості. Подальшим етапом технологічного ланцюга є перетворення цих моделей місцевості на картографічний продукт.

Для великомасштабного картографування основним способом отримання контурної частини топографічних планів досі залишається ручне оконтурення людиною-оператором об'єктів за ортофотопланом або за автоматично створеною 3D-моделлю. Ця процедура досі залишається недостатньо автоматизованою. В окремих випадках існують суттєві обмеження на саму можливість отримання достовірних і точних контурів об'єктів. Зазначене стосується насамперед об'єктів місцевості, закритої кронами рослин та частинами дахів будівель, які нависають [4]. Серед таких об'єктів виділяються будинки і споруди, контури яких показують на картах і планах строго відповідно до вимог національних та галузевих нормативів. В Україні чинні норми вказують, що контур будівлі необхідно на плані показувати за проекцією цоколя з відображенням виступів та інших архітектурних деталей розміром від 0,5 мм у масштабі створюваного плану [5, с. 417–421]. Відтак, у великих масштабах картографування отримати коректний контур будівлі складно як за ортофотопланом, так і за 3D-моделлю DSM (цифровою моделлю видимої поверхні)

$$H_{DSM} = H_{\text{рельєф}} + H_{\text{об'єкти}_\text{місцевості}} \quad (1)$$

Цьому перешкоджає наявність елементів конструкції дахів, які виступають за межі цоколю будинку. Додаткові труднощі вносять наявність затінених областей (мертвих зон знімання) та наявність поруч із стінами будівель високої деревної рослинності. Для пошуку методики оконтурення будинків використовувані підходи будують за відносною висотою об'єктів на сцені (перевищення об'єктів місцевості над рельєфом). Щоб отримати таку інформацію, необхідно створити модель поверхні місцевості DSM у полігональній структурі або у вигляді хмари 3D точок.

Методи визначення точок у 3D хмарі, які стосуються стін будівель, поширені в обробленні даних авіаційного лазерного сканування (ЛІДАР). Наприклад, у роботі [11] стосовно даних ЛІДАР передбачено сегментацію точок на основі їх належності до вертикальних площин. За такою аналогією і в DIM (стереореко́нструкція за цифровими стереопарами) пропонують за отриманою хмарою 3D точок виділяти вертикальні частини стін, як, наприклад, у роботі [9]. Для виділення контурів будівлі за моделями DSM досліджували, зокрема, і спосіб використання карти градієнта висотної моделі як гіпотези про наявність будівлі [12]. Неєфективність прямого запозичення методів обробки ЛІДАР для оброблення хмар точок, отриманих технологією DIM, пояснюється особливостями отримання та розподілу точок у 3D хмарі. На одну з таких особливостей вказано в роботах Р. Meixner та F. Leberl [13, 14], відзначено відмінність у розмірі пікселя на горизонтальній площині (gsd на місцевості) та розмірі пікселя на нахиленій (для стін будівель – вертикальній) площині. Розрахунки, які наводять ці автори для знімків, отриманих з різним нахилом, вказують на те, що така різниця істотна саме для знімків із порівняно малими нахилами – до 10 градусів. До наведеного тут, на нашу думку, треба додати, що розмір проекції пікселя знімка на стіну будівлі (за позначенням авторів FSD, на відміну від традиційного GSD) також залежатиме від просторової експозиції (орієнтації) вертикальної площини відносно сторін аерознімка. У разі створення 3D хмари точок ця відмінність може виявитись суттєвою для стереореко́нструкції, особливо у випадку застосування різнотипних знімків. Більшість стандартних програм стереореко́нструкції такі випадки стереототожнення не допускають, відбраковуючи точки як помилково розпізнані.

За малої щільності моделі DSM для якісного сприйняття стін будівель частина авторів пропонують виконувати додаткові знімання. Такий підхід, зокрема використано в роботі [6]. Автори пропонують доповнити основний блок аерознімків перспективними знінками, отриманими із мультикоптера з

відхиленням оптичної осі камери від вертикалі під кутом  $45^\circ$  і наземними знінками, отриманими камерою високого розрізнення. Обсяги додаткової інформації дуже суттєві, а її одержання істотно ускладнює і робить дорожчим проект. Описаний підхід неєфективний ще й тому, що не вся додаткова інформація може бути використана для розв'язання задачі в реальних умовах. Під час встановлення відповідних точок різнотипних знімків не обійтись без того, щоб їх перерозпізнав оператор, що вносить нові помилки і знижує рівень автоматизації загальної технології. Очевидно, вихід може стосуватись ретельнішого планування додаткових знімків, спрямування їх не на отримання інформації про всі фасади, а передусім на конкретні елементи, такі як кути будинків.

Робота [15], як і підхід, який ми описали в [4], використовує ефект ущільнення на плані XY точок тривимірної хмари точок у місцеположеннях, що належать фасадам. Автори пропонують будувати індексну карту, яка враховує за локальним перевищенням ще й кольорову інформацію щодо точки фасаду, а інші піксели, що не належать фасаду, ігнорувати. Потім це зображення сегментується з урахуванням середнього для кожного сегмента кольору. Метод дає хороші результати у разі виділення фасадів з використанням перспективних знімків. Недоліком можна вважати пропозицію задіювати тільки одну стереопару – очевидно, ефект ущільнення хмари точок проявиться незначно, в структурі даних можливі пропуски через наявність зон затінення.

Далі відзначимо наявність великої кількості публікацій, де як мету фотограмметричної технології розглядають насамперед отримання не власне контурів будинків як контурної частини топографічного плану, а топографічного шару “buildings footprints”, тобто будівельного сліду. Цей термін набуває поширення для позначення сумарного контуру всіх частин будівлі і є контуром проекції на площину плану не тільки стін будівлі, а й усіх інших її частин – даху, веранд, балконів, інколи вимощень довкола будинку тощо [7, 8]. Це пояснюється зацікавленістю споживачів не стільки у топографічній продукції у класичному розумінні, а у кадастровій документації. Наприклад, в Індії ця інформація необхідна для розрахунку податку на нерухомість. Проте основні пропоновані прийоми вилучення інформації із зображень ідентичні до описаних вище для оконтурення самої будівлі, з додаванням прийомів сегментації спектральної інформації.

Загалом, підсумовуючи наведене, вкажемо, що для вирішення завдання високоточного картографування будівель необхідна інтеграція методів фотограмметрії

як методу збирання інформації та аналітичних методів геоінформатики.

#### Виклад основного матеріалу досліджень

Як зазначено вище, у користувачів ГІС не виникає технологічних труднощів щодо отримання безпосередньо в середовищі ГІС цифрових моделей місцевості, таких як DSM, DTM, ортофотоплан. Визначимо процедуру отримання за даними аерознімання з БПЛА векторного картографічного шару контурів будинків згідно з вимогами нормативів [5]. Як вхідні дані використаємо хмару 3D точок, яка є моделлю DSM. Цю хмару точок отримано за технологією щільної стереорекострукції за умови, що її щільність дорівнює розрізненню вхідних аерознімків. Для великомасштабного аерознімання типовим вважатимемо розрізнення  $gsd=0,075$  м. Контури будівель на топографічних планах масштабів від 1:500 необхідно відображати по проекції цоколю з показом виступів та інших архітектурних деталей розміром від 0,25 м і більше [5].

#### Вирішення поставленого завдання

Виходитимемо з відомих передумов формування і оброблення хмари 3D точок з метою отримання планового контуру будинку, а саме:

- у разі дотримання технології фотограмметричного оброблення знімків із БПЛА практична точність визначення координат точок моделі DSM становить  $m_{XYZ}=2gsd$ , тобто за описаних вище умов знімання з БПЛА  $m_{XYZ}=0,15$  см. На вертикальних площинах точки фіксуються нерівномірно, причиною є особливості текстури кожної стіни, наявність зображення конкретних стін у різних ракурсах знімання та інші причини (рис. 1);

- перевищення над поверхнею рельєфу точок, що належать стінам будівель, потрібно врахувати у межах від 1 до 2,5 м. Це дасть змогу відсікти точки, які належать предметам, близьким до поверхні землі, та точкам верхніх поверхів, балконів, дахів, крон дерев, що нависають над будинками тощо (рис. 1, б).

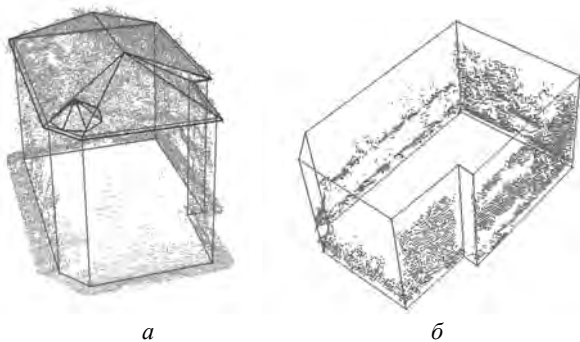


Рис. 1. Точкова модель поверхні DSM, отримана за аерозніманням з БПЛА

Умову відбирання точок із загальної хмари точок, які потенційно належать стінам будинків, запишемо виразом:

$$B_k = \begin{cases} TRUE, & 1m \leq \Delta H(i, j) \leq 2.5m \\ FALSE, & 2.5m \leq \Delta H(i, j) \leq 1m \end{cases}, \quad (2)$$

де  $B_k$  – ознака ймовірної належності точки  $k$  до стіни будинку;  $\Delta H(i, j)$  – діапазон координат  $Z$  точок хмари, які проєктуються на піксел ортофотоплану з координатами  $(i, j)$ ;  $k$  – індекс точки, яка є частиною хмари 3D точок;

- індикатором контуру стіни будівлі є ущільнення точок моделі DSM. Документом, який засвідчує цей ефект, є карта щільності точок, створена стандартними інструментами ГІС аналізу (рис. 2).

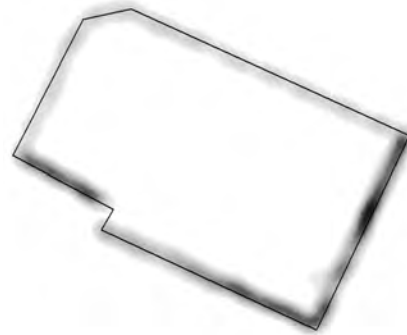


Рис. 2. Карта щільності точок моделі DSM демонструє ущільнення моделі в місцях стін будинку (полілінія)

Растрову карту щільності точок DSM ми використали для дослідження методу встановлення контуру стін будівель. Обґрунтування растрезації даних, отриманих у результаті фотограмметричної обробки, можна знайти, наприклад, у роботі [10]. Наприклад, класифікація растрованих даних замість вхідної хмари точок призвела до зниження точності на 5 %, що можна вважати доволі незначним негативним ефектом. В нашому випадку розрізнення растрової карти щільності встановлене таким, що дорівнює просторовому розрізненню аерознімків.

Застосуємо значення щільності як атрибут поверхні. Тоді на рис. 2 неважко помітити, що така поверхня має перегин у місцях найвищої щільності, тобто в місцях, що відповідають зовнішнім контурам стін. Оскільки умови знімання різних стін неоднакові (ракурс знімання, наявність зон затінення (оклюзії), текстурні властивості поверхні стін тощо), перегин складно відтворити 3D полілінією. Як варіант вирішення пропонуємо використати інструменти растрового геоінформаційного аналізу. Зокрема, розглянемо програмні інструменти гідрологічного аналізу, такі як автоматичне виділення басейну водозбору (рис. 3).

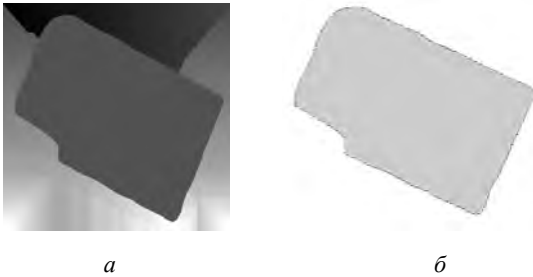


Рис. 3. Растрова (а) та векторна (б) моделі басейну водозбору, побудованого за поверхнею щільності моделі DSM

На рис. 3 показано фрагмент растрової та векторної контурної карти, отриманої із застосуванням інструмента виділення басейнів водозбору. Ці карти побудовано за поверхнею, атрибутом висоти якої є значення щільності точкової моделі DSM, відфільтрованої за умовою (2). Цей приклад наведено для моделі будинку, зображеного на рис. 1, 2.

Для відбирання полігонів, що не належать зображенням будинків, можна скористатись бінарною растровою маскою [9], сформованою у нашому випадку за умовою:

$$g(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } Dens(i, j) < T \\ 1, & \text{якщо } Dens(i, j) \geq T \end{cases} \quad (3)$$

де  $g(i, j)$  – зображення-маска будинків, яке будують на всю територію дослідження із заданим розрізненням;  $Dens(i, j)$  – щільність хмари точок у конкретному пікселі маски;  $T$  – апріорі встановлене порогове значення щільності хмари точок, у разі досягнення якого висувається гіпотеза про приналежність піксела до стіни будинку.

Наступний етап геоінформаційного аналізу має на меті нормалізацію полігонів контурів будівель за допомогою вилучення небажаних артефактів у їхній геометрії. Повнофункціональні інструментальні ГІС мають достатньо засобів для спрощення контурів, згладження поліліній, ортогоналізації полігонів. Частина таких інструментів спеціально призначена для оброблення ортонормованих контурів будинків [17]. Конкретний підбір інструментів, порядок їхнього застосування і параметри виконання кожного з них необхідно вибирати для конкретної інструментальної ГІС та параметрів моделі DSM кожного фотограмметричного проекту.

Запропоновану методику ми застосували під час виконання великомасштабних топографічних знімків кількох населених пунктів. Об'єкт одного з цих проектів (будинок амбулаторії у с. Давидів Пустомитівського району) використали для створення ілюстрацій для цієї статті. Аерознімки з БПЛА мали типові параметри взаємного перекриття і масштабу знімання. Фотограмметричні блоки опрацьовано в програмних пакетах Pix4D та побудованому на

аналогічній йому методичній базі Drone2Map. Всі процеси геоінформаційного моделювання і аналізу виконано в інструментальній ГІС ArcGIS 10.5. Методика дала змогу істотно скоротити терміни створення топографічних планів. У разі застосування цієї методики робота людини-оператора зводиться до візуальної перевірки і редагування за потреби контурів будинків і споруд. Очевидно, що достовірність результатів оконтурення будинків, якість відтворення геометричних форм залежать від таких чинників, як просторова розрізненість зображень, відсутність безпосередньо поблизу будинків високої рослинності, інших споруд тощо.

Основною проблемою, виявленою під час тестування методики, є те, що у контурі будівлі, як правило, пропущені точки в кутах. Оскільки будинок зазвичай має правильну форму з прямими кутами, кутові точки може додати оператор. Автоматизація цієї процедури може бути предметом подальших досліджень.

### Висновки

Проведені дослідження демонструють можливість автоматизованої побудови векторного шару контурів будинків у середовищі ГІС за даними, отриманими за допомогою фотограмметричного оброблення аерознімків. Причому останній процес можна виконувати безпосередньо в середовищі інструментальної ГІС. Запропоновано методику, яка дає змогу уникнути впливу таких небажаних для оконтурення факторів, як наявність частин дахів будівель, які нависають, крони дерев поблизу стін тощо. Методику апробовано на кількох реальних проектах великомасштабного топографічного знімання сіл у Львівській області.

Перспектива подальших досліджень – удосконалення методики спрощення і ортогоналізації контурів будинків та автоматизація процедури відбору артефактів у моделі DSM, які можуть спотворювати результати.

### Література

1. Геоматика в моніторингу довкілля та оцінці загрозливих ситуацій: монографія / за ред. О. Дорожинського. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 400 с.
2. Сайт компанії ESRI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/drone2map/overview>
3. Benkelman C. A. Drones and Imagery in the ArcGIS Platform [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/Benkelman.pdf>
4. Дорожинський О. Специфічний спосіб побудови ортофотозображень / О. Л. Дорожинський, І. З. Колб // Моніторинг довкілля, фотограмметрія,

- геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку: зб. наук. праць Восьмої наук.-практ. конфер., м. Львів, 14–16 вересня 2017. – С. 21–26.
5. Топографо-геодезична та картографічна діяльність: законодавчі та нормативні акти: в 2-х частинах. Частина друга. – Вінниця: Антарекс, 2002. – 656 с.
  6. Trevoho I., Heger W., Loßmann Ch., Lisnyk O. Aerial data application for construction of large-scale plans // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – 2018. – № 1 (35). – С. 158–163.
  7. Building Footprint USA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.buildingfootprintusa.com/product>
  8. Building footprint [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://constructioncosts.eu/glossary/building-footprint/> (дата звернення 11.05.2018).
  9. Rottensteiner F., Jansa J. Automatic extraction of buildings from LIDAR data and aerial images // Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa 2002 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/4498/66799d90bff986631979871e3c057fd73532.pdf>
  10. Tran T. H. G., Otepka J., Wang D., Pfeifer N. Classification of image matching point clouds over an urban area // International Journal of Remote Sensing, 2018, 39:12, 4145-4169, DOI: 10.1080/01431161.2018.1452069
  11. Awrangjeba M., Lua G., Fraser C. S. Automatic building extraction from lidar data covering complex urban scenes // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-3, 2014 (ISPRS Technical Commission III Symposium, 5–7 September 2014, Zurich, Switzerland). P. 25–32.
  12. Baltsavias E., Mason S., Stallmann D. Use of DTMs/DSMs and Orthoimages to Support Building Extraction. In: Gruen A., Kuebler O., Agouris P. (eds.) Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images. Monte Verità (Proceedings of the Centro Stefano Franscini Ascona). Birkhäuser Basel // <https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/146261/eth-25207-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  13. Meixner P. and Leberl F. (2010). Vertical or Oblique Aerial Photography for Semantic Building Interpretation / See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/285714777>
  14. Meixner P., Leberl F. Interpreting building facades from vertical aerial images using the third dimension. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. 38. [https://www.researchgate.net/publication/287024212\\_Interpreting\\_building\\_facades\\_from\\_vertical\\_aerial\\_images\\_using\\_the\\_third\\_dimension](https://www.researchgate.net/publication/287024212_Interpreting_building_facades_from_vertical_aerial_images_using_the_third_dimension)
  15. Hsua Y.-C., Jhanb J.-P., Rau J.-Y. (2012). Facade detection in oblique aerial image using object based image analysis // ACRS, 2012, Thailand, Pattaya [http://www.a-a-r-s.org/acrs/administrator/components/com\\_jresearch/files/publications/B5-1.pdf](http://www.a-a-r-s.org/acrs/administrator/components/com_jresearch/files/publications/B5-1.pdf)
  16. Nex F., Rupnik E., Remondino, F. Building Footprints Extraction from Oblique Imagery, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., II-3/W3, 61-66, <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-3-W3-61-2013>, 2013.
  17. ESRI ArcGIS 10.5 Help. [Електронний ресурс]. – Електронна довідкова система ArcGIS.

**Методика створення засобами  
геоінформатики картографічного  
шару контурів будівель за матеріалами  
великомасштабного аерознімання  
місцевості з БПЛА**

І. Колб

Висвітлено методологію оброблення хмари 3D точок, яка отримана у результаті фотограмметричного оброблення великомасштабних аерознімків із БПЛА для автоматизованого отримання контурів будівель.

**Методика создания средствами  
геоинформатики картографического  
слоя контуров строений по материалах  
крупномасштабной аэросъемки  
местности с БПЛА**

І. Колб

Раскрыта методология обработки облака 3D точек, полученных путем фотограмметрической обработки крупномасштабных аэроснимков БПЛА для автоматизированного получения контуров строений.

**Method of creating geoinformatics  
of cartographic layer of building contours on materials  
of large-scale aerial survey of UAVs**

I. Kolb

The methodology for treating clouds of 3D points, obtained by photogrammetric processing of large-scale UAV aerial photographs for the automated acquisition of building contours, is disclosed.