

М.О. Пілічева, А.А. Данилюк

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
Україна

АНАЛІЗ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕТОДІВ ТА ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ КАРТОГРАФІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІСТОБУДІВНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

У статті досліджено сучасні підходи до використання даних дистанційного зондування для оновлення містобудівної документації, а саме: супутникових знімків, матеріалів аерофотозйомки і лідарного сканування, а також використання геоінформаційних систем. Запропоновано методологічні рекомендації щодо інтеграції даних дистанційного зондування та геоінформаційних технологій у процеси просторового планування. Особливо наголошено на необхідності автоматизації обробки даних.

Ключові слова: геоінформаційна система, дані дистанційного зондування, геодезичні методи, містобудівна документація, автоматизація.

Постановка проблеми

Розробка містобудівної документації тісно пов'язана із забезпеченням точних та актуальних геопросторових даних. Динамічні зміни забудови, природних умов, розширення інфраструктури та посилення екологічних викликів вимагають впровадження більш точних, ефективних і стандартизованих підходів до збору, обробки та інтеграції геопросторової інформації.

У процесі використання сучасних методів, таких як глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС), лідарне сканування, супутникові знімки та аерофотознімання, виникають численні питання, пов'язані з інтеграцією даних з різних джерел, до яких відносяться:

- відсутність єдиної методології для стандартизації та збереження даних;
- наявність недоліків у точності та релевантності геопросторової інформації;
- низький рівень інтероперабельності між існуючими геоінформаційними системами (ГІС) та кадастровими системами.

Незважаючи на активний розвиток ГІС та впровадження електронних кадастрів, відсутні чіткі інструкції щодо використання цих систем у контексті містобудування. Також актуальним залишається питання автоматизації оновлення геопросторових даних. На даний момент більшість процесів є ручними, що уповільнює оновлення містобудівної документації та підвищує ризик помилок. Автоматизація могла б суттєво підвищити швидкість і якість роботи, але її впровадження вимагає значних

інвестицій у розробку відповідного програмного забезпечення.

Екологічні виклики, такі як зміна клімату, урбанізація та виснаження природних ресурсів, вимагають інтеграції екологічних аспектів у містобудівну документацію. Для цього необхідні нові підходи до моделювання територій, що включають створення тривимірних моделей, облік зон ризику (затоплення, зсуви, забруднення) та планування зелених зон.

Отже, існує нагальна потреба у створенні єдиної методології, яка б об'єднувала сучасні геодезичні методи, дозволяла інтегрувати результати у містобудівну документацію і враховувала місцеві особливості територій. Особливу увагу слід приділити ефективному використанню супутникових знімків, аерофотозйомки та інших дистанційних методів для підвищення точності й оперативності оновлення даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Методи оновлення містобудівної документації фігурують в багатьох наукових дослідженнях. Зокрема, дана тема висвітлюється як в роботах української наукової спільноти [1-2], так і в роботах іноземних спеціалістів [3-6].

Геодезичні методи мають вирішальне значення для оновлення містобудівної документації, оскільки вони надають точні та надійні дані про фізичні характеристики міського середовища. Ці методи, які передбачають використання геодезичних методів та геопросторових технологій, можна застосовувати для картографування забудованого середовища, моніторингу змін у часі та підтримки прийняття

рішень у сфері міського планування [3]. Однією з ключових переваг геодезичних методів є їхня здатність збирати детальну та актуальну інформацію про міський ландшафт, включаючи розташування, розмір і форму будівель, інфраструктуру та інші особливості [4]. Ця інформація може бути використана для створення детальних карт і моделей міського середовища, які потім можуть бути інтегровані в процеси міського планування [5].

Геодезичні методи також можна використовувати для моніторингу змін у міському середовищі з плином часу, таких як розширення забудованої території, зведення нових будівель та модифікація існуючої інфраструктури. Ці дані безумовно дуже цінні для містобудівників, оскільки можуть допомогти їм виявити нові тенденції та виклики і розробити більш ефективні стратегії управління зростанням і розвитком міст [1].

Однак використання геодезичних методів у міському плануванні також пов'язане з певними проблемами та обмеженнями. Однією з головних проблем є потреба у спеціалізованому досвіді та обладнанні, придбання та обслуговування яких може бути дорогим і трудомістким [6]. Крім того, інтеграція геодезичних даних у процеси міського планування може бути складною, оскільки вимагає координації дій різних зацікавлених сторін і розробки відповідних інструментів управління та аналізу даних. Іншим потенційним обмеженням геодезичних методів є їхня залежність від наявності точних та актуальних даних. У деяких випадках дані, необхідні для міського планування, можуть бути недоступними або мати низьку якість, що може обмежувати ефективність цих методів [2].

Значна увага приділяється використанню дистанційного зондування, аерофотозйомки та інтеграції геоінформаційних систем.

Велика кількість публікацій присвячених окремим методам оновлення містобудівної документації. В роботах [7-8] відображено специфіку дистанційного зондування Землі шляхом супутникових знімків, а в інших [12-13] увага приділяється дослідженню методики застосування безпілотних літальних апаратів для таких завдань. Протягом тривалого часу опрацьовуються [14-16] традиційні наземні методи оновлення містобудівної документації.

Таким чином, аналіз досліджень науковців показав, що велика кількість наукових робіт спрямована на опрацювання і вдосконалення окремих методів оновлення містобудівної документації. Також увага приділяється загальному вивченню застосування геодезичних методів для моніторингу змін у міському середовищі. Проте, потрібно зазначити, що в даній темі не вистачає структурованості інформації та недостатньо

приділено уваги використанню дистанційних методів знімання Землі при оновленні містобудівної документації.

Мета

Дослідження та систематизація сучасні методи дистанційного зондування, а також їх роль в оновленні містобудівної документації в порівнянні з іншими методами. У статті пропонується науково обґрунтована методологія інтеграції цих технологій у просторове планування для забезпечення точності, оперативності та ефективності оновлення картографічних даних.

Виклад основного матеріалу

Ефективне оновлення документації з просторового планування потребує застосування сучасних геодезичних методів, які забезпечують точність, оперативність і відповідність вимогам сьогодення. Технологічний прогрес у сфері геодезії та картографії відкрив нові можливості для збору, обробки й інтеграції даних, що дозволяє максимально деталізувати інформацію про території, підтримувати її актуальність та оптимізувати процеси планування. У цьому контексті варто розглянути основні геодезичні методи, які забезпечують найвищу ефективність в оновленні документації з просторового планування.

1. *Супутникові знімки.* Вони забезпечують широке покриття з просторовою роздільною здатністю від декількох метрів (середня роздільна здатність) до менш ніж одного метра (висока роздільна здатність). Супутникові датчики збирають дані в різних спектральних діапазонах, включаючи видимий, інфрачервоний та мікрохвильовий. Обробка даних включає прив'язку до необхідної системи координат та корекцію атмосферних і геометричних спотворень для забезпечення точності [7].

Космічні знімки за просторовою здатністю поділяються на:

– Високопросторові знімки. Вони мають просторову здатність менше 1 м/піксель. Джерелами отримання таких даних слугують комерційні супутники, наприклад, WorldView-3/4, GeoEye-1, Pleiades. За особливості треба відмітити можливість детального аналізу міської інфраструктури, окремих будівель, дорожньої мережі. Використовуються для створення кадастрових карт, моніторингу стану будівель, контролю інженерних об'єктів. Як обмеження треба виділяти невеликі площі покриття і більш високу вартість використання.

– Середньопросторові знімки. Даний тип знімків має просторову здатність 1-30 м/піксель. В цьому випадку джерелами виступають супутники Landsat (30 м), Sentinel-2 (10 м), SPOT. Такі знімки

застосовуються для вивчення землекористування, моніторингу змін лісового покриву, оцінки стану сільськогосподарських угідь. Оптимальні для масштабних регіональних досліджень завдяки поєднанню деталізації та великого охоплення території. Але вони мають меншу точність при аналізі об'єктів дрібного масштабу.

– Низькопросторові знімки характеризуються просторовою здатністю більше за 30 м/піксель. Знімки такого гатунку отримують зі супутників MODIS (250-1000 м), AVHRR. Вони використовуються для глобальних екологічних досліджень: змін клімату, моніторингу біосфери, визначення великих природних катаклізмів (пожежі, повені). Мають низьку деталізацію, але охоплюють великі території за короткий час.

Загалом, як метод оновлення інформації для містобудівної документації використання космічних знімків доцільне лише у разі застосування космічних знімків середньої і високої просторової роздільної здатності. В такому разі ця методика має такі переваги та недоліки:

– переваги: широке покриття, підходить для великих міських територій; регулярні зйомки дозволяють відслідковувати зміни в часі;

– недоліки: обмежений погодними умовами та хмарністю; дані з високою роздільною здатністю можуть бути дорогими; потребує складних методів обробки для інтерпретації.

2. *Лідарне супутникове знімання (LiDAR — Light Detection and Ranging)* використовує технологію активного дистанційного зондування, яка полягає у вимірюванні часу проходження лазерного імпульсу від передавача на супутнику до поверхні Землі і назад до приймача. Лідар реєструє кілька повернень від одного імпульсу, що дозволяє йому виявляти проміжні шари, такі як рослинність, ще до того, як він досягне землі. Ці багаторазові повернення мають вирішальне значення для створення детальних 3D-моделей, які відрізняють рельєф від споруд і листя [8].

Лідарне супутникове знімання активно використовується для створення базових карт та оновлення містобудівної документації у масштабі 1:25000–1:50000. Основні приклади включають:

– генерація цифрових моделей рельєфу (ЦМР): використовується для проектування інженерної інфраструктури, доріг, та планування забудови;

– аналіз зон ризику: застосовується для оцінки зсувних чи затоплюваних територій;

– створення базових карт: використовується для оновлення топографічних карт у регіонах з динамічними змінами ландшафту.

Лідарне супутникове знімання є перспективним інструментом для створення картографічної основи, особливо для великих територій та важкодоступних

місцевостей. Хоча метод має обмеження у роздільній здатності, він забезпечує достатню точність для масштабів середнього рівня деталізації. Ефективне поєднання лідарних супутникових даних з іншими джерелами інформації, такими як аерофотознімання чи наземне лазерне сканування, дозволяє досягти високої точності та деталізації в картографуванні.

Лідарне супутникове знімання забезпечує високу точність вимірювань, залежно від роздільної здатності та характеристик обладнання. Реальні показники точності для лідарного супутникового знімання наступні:

– горизонтальна точність: 0.5–2 м;

– вертикальна точність: 0.1–0.3 м (для відкритої місцевості);

– роздільна здатність: від 1 м² до 25 м² (залежно від місії супутника).

Для даного методу можна визначити наступні переваги та недоліки:

– переваги: висока вертикальна точність при картографуванні рельєфу та споруд; проникає крізь рослинність і виявляє поверхню землі; швидкий збір даних на великих площах; деталізація рельєфу;

– недоліки: високі експлуатаційні витрати; потребує досвіду в обробці даних; обмежений вимірюваннями в межах прямої видимості; залежність від орбітального проходу супутника.

3. *Наземне лазерне сканування (НЛС)* є одним із найточніших і найсучасніших методів збору геопросторових даних, який знаходить широке застосування у створенні картографічної основи. Як супутниковий спосіб, наземне лазерне сканування базується на технології LiDAR. Лазерний сканер розміщується на штативи по станціям, мобільну платформу чи БПЛА і таким чином досліджується задана територія. По території розміщуються також контрольні марки для закріплення отриманих даних на місцевості та об'єднання сканів в одну хмарину точок. Камеральна обробка повністю пов'язана з роботою з хариною точок і її фільтруванням від зайвих даних

Лінійна точність методу становить ± 3 мм на відстані до 100 м. Кутова ж точність сягає секундної.

Такий метод має свої недоліки та переваги, які можна охарактеризувати таким чином:

– переваги: найбільш можлива точність; швидкий спосіб отримання картографічних даних; можливість використання в будь якому середовищі; детальність зйомки; можливість знімати важкодоступні місця;

– недоліки: висока вартість обладнання та самої зйомки, а також камеральних робіт; величезний обсяг даних, при цьому, отримуються зайві дані, які не потрібні для виконання поставленої задачі і потребують фільтрації; складність та великі часові витрати на камеральні роботи, а також потребу в

– висококваліфікованих робітниках для камеральних робіт.

4. *Аерофотозйомка з літаків* – зйомка зображень з високою роздільною здатністю з пілотованих літаків, обладнаних камерами. Найчастіше виконується стереоскопічне аерофотознімання, яке дозволяє видобувати 3D-дані. Камера зазвичай проходить калібрування, що гарантує мінімізацію спотворень зображення, зберігаючи його геометричну точність [12].

Процес аерофотозйомки поділяється на етапи:

1. визначення території робіт та планування польоту (враховується площа, рельєф, тип місцевості та ціль дослідження);

2. створюється детальний план польоту (враховує маршрут літака, висоту зйомки, кількість знімків і необхідний ступінь перекриття зображень (повздовжнє перекриття становить 60-70 %, поперечне – 20-30%));

3. виконується зйомка (під час польоту камера здійснює автоматичну фіксацію знімків через рівні інтервали часу або відстані);

4. обробка та аналіз даних (використовується спеціалізоване програмне забезпечення; для підвищення точності використовуються наземні опорні точки або ГНСС-дані, які синхронізуються із знімками; створюються ортофотоплани, цифрові моделі рельєфу (ЦМР), цифрові моделі місцевості (ЩММ) та тривимірні моделі.

Роздільна здатність аерофотознімків залежить від характеристик камери та висоти польоту. Точність позиціонування зазвичай коливається в межах 0,1-1,0 м.

Для даного методу можна визначити наступні переваги та недоліки:

– переваги: покриває великі площі за один політ; надає зображення з високою роздільною здатністю для детального картографування; налагоджена технологія з перевіреними робочими процесами.

– недоліки: високі операційні витрати порівняно з БПЛА; залежність від погодних умов; потребує доступу до правил використання повітряного простору.

5. *Аерофотозйомка за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА)* є сучасним і високоточним методом збору геопросторових даних. Її використання стає все більш популярним завдяки гнучкості, відносно низьким витратам і можливості збору даних у складних умовах.

Розбиття роботи на етапи у випадку з БПЛА будується за тією ж логікою, що і випадку використання літаків. Спочатку відбувається вибір території зйомки та планування польоту. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, Pix4D або DroneDeploy) створюється план польоту, що враховує висоту

зйомки, маршрути, перекриття знімків (80–90% уздовж польоту та 60–70% між маршрутами), та налаштовується оптимальна швидкість руху. Калібрування обладнання є дуже важливим аспектом – калібрування проходять камери БПЛА, перевіряється робота ГНСС-модуля та інерціальної навігаційної системи (INS).

Далі слідує польовий етап, який включає в себе розміщення опорних точок (Ground Control Points, GCPs) та відбувається процес зйомки за допомогою безпілотної. БПЛА автоматично виконує заплановану місію, фіксуючи знімки через рівні інтервали або за тригерами GNSS. Програмне забезпечення враховує зміну висоти рельєфу, коригуючи траєкторію. Середня тривалість одного польоту обмежена ємністю акумулятора і становить 20–40 хвилин для більшості стандартних БПЛА.

Наступним кроком є обробка та аналіз даних у фотограмметричних програмах – прив'язку до координатної системи, корекцію геометричних спотворень, створення ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу (ЦМР) та хмар точок.

Основним інструментом збору даних є камера, яка може бути оптичною (RGB), мультиспектральною або тепловізійною. Для складних завдань встановлюють також лідарні сенсори. Камери БПЛА забезпечують високу роздільну здатність знімків, зазвичай 1–3 см/піксель на висоті 50–150 м [13].

Представлена методика має такі переваги та недоліки:

– переваги: економічна ефективність для малих і середніх територій; збір даних з високою роздільною здатністю; гнучке розгортання з мінімальною підготовкою;

– недоліки: обмежена тривалість польоту і вантажопідйомність; потребує кваліфікованих операторів і дотримання правил; чутливість до погодних умов.

6. *Тахеометрична зйомка* – це один із основних методів геодезичних робіт, який використовується для створення топографічних планів місцевості. Цей метод базується на вимірюванні горизонтальних і вертикальних кутів, а також відстаней за допомогою тахеометра. В результаті отримують детальну тривимірну модель місцевості, яка є основою для створення топографічного плану.

Позиційна точність даного методу становить 1-2 мм, ідеально підходить для детальної роботи [14]. Метод має наступні переваги та недоліки:

– переваги: висока точність для дрібномасштабних проєктів; надійність у різних умовах навколишнього середовища; гнучкість у використанні; автоматизація виконання зйомки; отримання тривимірних координат точок;

– недоліки: довготривалий та трудомісткий процес зйомки; обмежене покриття території; вплив умов середовища може ускладнити чи сповільнити роботу; коштовність як обладнання, так і виконання зйомки.

7. *Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS)*. Метод визначає точні географічні координати за допомогою сигналів, що передаються із сузір'я супутників, які обертаються навколо Землі. До таких систем належать GPS, ГЛОНАСС, Galileo та BeiDou.

Принцип цього методу полягає в тому, що GNSS працює за принципом трилатерації. Сигнали щонайменше від чотирьох супутників необхідні для обчислення положення приймача в трьох вимірах (широта, довгота і висота). Приймач обчислює часову затримку кожного сигналу, щоб визначити відстань до кожного супутника. Сучасні технології, такі як кінематика в реальному часі (RTK) і точне позиціонування (PPP), підвищують точність, коригуючи атмосферні спотворення і похибки супутникового годинника за допомогою референціальних станцій або точних даних про орбіту супутників [15].

Точність методу вар'юється від метрової (стандартні GNSS) до міліметрової (з поправками RTK і PPP).

До переваг та недоліків відносяться:

– переваги: висока точність; підходить як для малих, так і для великих площ; портативність та універсальність.

– недоліки: інтерференція сигналу в міській місцевості або густій рослинності; залежить від доступності супутників та поправок.

4. *Використання відкритих електронних джерел*. В ряді задач можна використовувати наявні дані з відкритих електронних джерел, що значно полегшить роботу і забезпечить доступ до якісних даних на відповідному рівні. В рамках роботи з містобудівною документацією найкращими подібними ресурсами можна назвати Open Street Map і Google Earth Engine.

Головним джерелом інформації необхідно вказати OpenStreetMap [9]. Це глобальна, відкрита платформа для збору географічних даних, створена спільнотою користувачів. OSM використовується для створення базових карт та аналізу інфраструктури. Платформа пропонує високоточні, відкриті дані для широкого спектра геоінформаційних задач – інформація про дороги, межі забудов, транспортні мережі та природні об'єкти, яка є основою для планування територій. Дані можуть бути завантажені у форматах GeoJSON, Shapefile або для інтеграції у програмне забезпечення, наприклад, QGIS [10]. Важливим аспектом є інтеграція з іншими платформами:

– Overpass Turbo дозволяє виконувати складні запити для отримання специфічних даних з бази OSM (наприклад, дороги певного типу чи забудови).

– Geofabrik пропонує локальні або регіональні набори даних OSM, які адаптовані для використання в ГІС-системах.

– Mapillary забезпечує інтерактивну візуалізацію вулиць та територій, що допомагає в оновленні картографічної інформації.

В цілому, OSM забезпечує базові топографічні дані, які використовуються для формування функціональних зон, а інструменти OSM допомагають аналізувати доступність територій.

QGIS підтримує імпорт даних не тільки з OSM, а і з Google Earth Engine і використання супутникових знімків для моніторингу змін у землекористуванні.

Google Earth Engine (GEE) – це платформа для аналізу супутникових даних та великих обсягів геопросторової інформації. GEE забезпечує доступ до архіву супутникових знімків, зокрема Landsat, Sentinel, MODIS, які використовуються для моніторингу змін землекористування та екологічного стану територій. Застосовується для аналізу динаміки змін забудови, зростання населених пунктів та оцінки екологічного впливу урбанізації. Використання скриптів для створення автоматизованих процесів оцінки землекористування (наприклад, аналіз зелених зон або забудови в межах міст). Також сервіс використовується для стратегічного планування на рівні регіонів чи територіальних громад. Дані GEE допомагають в оцінці потенціалу територій для розвитку інфраструктури або рекреаційних зон [11].

У підсумку, необхідно сказати, що використання відкритих джерел, таких як OpenStreetMap, QGIS та Google Earth Engine, дозволяє значно знизити витрати на отримання геопросторових даних, забезпечити точність та актуальність інформації для містобудівного планування. Інтеграція цих платформ сприяє автоматизації процесів, підвищенню прозорості планувальних рішень і створенню інструментів для сталого розвитку територій.

Містобудівна документація розробляється на державному, регіональному та місцевому рівнях. На державному та регіональному рівнях розробляються Генеральна схема планування території України та регіональні схеми, що визначають основні напрями розвитку інфраструктури, природокористування та функціонального зонування. На місцевому рівні актуалізація містобудівної документації є обов'язковою кожні 5 років. Сучасні технології, активно впроваджуються для оновлення даних, що забезпечує точність і актуальність прийняття рішень.

В таблиці 1 наведено структуру містобудівної документації в Україні [17-21] та методи оновлення її картографічного забезпечення.

Таблиця 1.

Структура містобудівної документації в Україні та методи оновлення її картографічного забезпечення

Вид документації	Об'єкти, що відображаються	Масштаб	Методи оновлення картографічного забезпечення	Похибка
Містобудівна документація на державному рівні				
Генеральна схема планування території України	Територія України, транспортна, екологічна інфраструктура	1:50000	Космічні знімки високої просторової здатності, космічні знімки середньої просторової здатності, відкриті дані (OpenStreetMap, Google Earth Engine) лідарне супутникове знімання, аерофотозйомка з літака	±10 м
Схема планування окремих частин території України	Регіони, природні зони, інфраструктурні об'єкти	1:25000	Космічні знімки високої просторової здатності, відкриті дані (OpenStreetMap, Google Earth Engine) лідарне супутникове знімання, аерофотозйомка з літака	±5 м
Містобудівна документація на регіональному рівні				
Схема планування території регіонів	Області, агломерації, промислові зони	1:10000	Аерофотозйомка з літака, космічні знімки високої просторової здатності	±2 м
Містобудівна документація на місцевому рівні				
Генеральний план населеного пункту	Території міст, сіл, соціальна інфраструктура	1:2000 або 1:5000	Топографічне знімання (GNSS, тахеометричне знімання), аерофотозйомка з літака, аерофотозйомка з БПЛА	±1 м
План зонування території (зонінг)	Житлові, промислові, рекреаційні зони	1:2000 або 1:5000	Топографічне знімання (GNSS, тахеометричне знімання), аерофотозйомка з літака, аерофотозйомка з БПЛА	±1 м
Детальний план території (ДПТ)	Ділянки під забудову, квартали, функціональні зони	1:500 або 1:1000	Топографічне знімання (GNSS, тахеометричне знімання), наземне лазерне сканування, аерофотозйомка з БПЛА у комплексі з наземними зйомками рельєфу та підземних комунікацій	±0,5 м
Комплексний план просторового розвитку території громади	Вся територія громади, зони розвитку	1:10000	Аерофотозйомка з літака, космічні знімки високої просторової здатності	±2 м
	Окремі населені пункти, рекреаційні об'єкти	1:2000	Топографічне знімання (GNSS, тахеометричне знімання), аерофотозйомка з БПЛА	±0,5 м
Містобудівний кадастр	Інженерні мережі, земельні ділянки, об'єкти нерухомості	Масштаб залежить від об'єкта	Топографічне знімання (GNSS, тахеометричне знімання), наземне лазерне сканування, аерофотозйомка з БПЛА у комплексі з наземними зйомками підземних комунікацій	±0,1-0,5 м

Висновки

Таким чином, було розглянуто сучасні підходи до використання методів дистанційного зондування для оновлення містобудівної документації, включно із супутниковими знімками, аерофотозйомкою, лідарним скануванням і використанням відкритих платформ геопросторових даних. Використання цих технологій дає змогу забезпечити своєчасність,

точність та ефективність геопросторових даних, необхідних для територіального планування.

Особливу увагу потрібно приділяти аерофотозйомці за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які характеризуються високою деталізацією зображень, простотою використання на локальних ділянках та економічністю. Водночас наголошуємо на необхідності інтеграції лідарного сканування для створення тривимірних моделей

місцевості, що важливо для територій зі складним рельєфом або щільною забудовою.

В даній роботі також висвітлено те, що автоматизація обробки даних та інтеграція результатів у геоінформаційні системи є ключовим фактором підвищення ефективності оновлення містобудівної документації. Однак для того, щоб повністю реалізувати потенціал методів дистанційного зондування, необхідне подальше вдосконалення нормативно-правової бази та інвестиції в розвиток відповідних технологій.

Впровадження цих рішень допоможе створити стандартизовану методику підтримки картографування, що враховує специфіку місцевих територій, екологічні проблеми та потреби сталого розвитку. Це забезпечить високий рівень точності планування, мінімізує ризики та сприятиме ефективному управлінню земельними ресурсами.

Література

1. Xhafa S., Kosovrasti A. Geographic information systems (GIS) in urban planning. *European Journal of Interdisciplinary Studies*. 2015, Vol. 1, Nr. 1. P. 85–92.
2. Карпінський Ю. Системна модель топографічного картографування в національній інфраструктурі геопросторових даних в Україні. [Текст] / Ю. Карпінський, Н. Лазоренко-Гевель // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. – Вип. 92. – 2020. – С. 24–36.
3. Reddy P. Implication of GIS on sustainable urban planning and management in Uganda. *International Journal of Technology and Systems*. 2021, 6(1), p. 15-27. DOI <https://doi.org/10.47604/ijts.1268>.
4. Yang Y., Wang D., Yan Z., Zhang S. Delineating urban functional zones using u-net deep learning: case study of Kuancheng district, Changchun, China. *Land*. 2021, 10(11), 1266. DOI <https://doi.org/10.3390/land10111266>.
5. Toshboeva R. S. Artificial intelligence in the cadastral system of Uzbekistan: application problems and solutions. *Naturalista campano*. 2024, Vol. 28(1). P. 1584-1594.
6. Annanias Y., Windolph J., Wehlitz R., Wiegrefe D. An interactive decision support system for analyzing and linkage of weather-related restrictions of opencast lignite mines. 2022. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.36730/2022.1.levia.2>.
7. Яловега В. А. Методи обробки мультиспектральних зображень в комп'ютеризованій системі на основі нейронних мереж глибокого навчання: дис. ... д-ра філософії : 123. Харків, 2024. 211 с.
8. LiDAR Basics. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/lidar-basics>.
9. OpenStreetMap. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.openstreetmap.org>.
10. QGIS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://qgis.org>.
11. Google Earth Engine. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://earthengine.google.com>.
12. Казанцева Л. В. Прилади дистанційного зондування періоду аерофотозйомки / Л. В. Казанцева, М. Г. Кокшайкін, С. А. Салата // *Дослідження з історії і філософії науки і техніки*. – 2021. – Vol. 30, № 2. – С. 41–59.
13. Butenko E. Peculiarities of geodesic works with the use of UAVs for the needs of land management / E. Butenko, N. Nevoit // *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. – 2021. – № 1. – С. 95–102. DOI <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2021.01.08>.
14. Kang X. Research on the application of total stations and drones in urban building surveying. *Journal of Environmental and building engineering*. 2024. Vol. 1 No. 2. DOI <https://doi.org/10.70767/jebe.v1i2.343>.
15. Dorozhko Ye., Onyshchenko O. Comparative analysis of geospatial data collection methods for the construction of digital models of the location. *SWorldJournal*. 2023. Vol. 22-01. P. 55–60. DOI <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-22-01-056>.
16. Войтенко С.П. Інженерна геодезія: Підручник / С.П. Войтенко. – 2-ге вид., виправл. і допов. – К. : Знання, 2012. – 574 с.
17. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку розроблення, оновлення, внесення змін та затвердження містобудівної документації» від 01.09.2021 р. № 926. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/926-2021-%D0%BF#Text>.
18. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» від 17.02.2011 р. № 3038-VI. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>.
19. Постанова Кабінету Міністрів України «Про містобудівний кадастр» від 25.05.2011 р. № 559. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/559-2011-%D0%BF#Text>.
20. ДБН Б.1.1-13:2021 «Склад та зміст містобудівної документації на державному та регіональному рівнях». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98055.
21. ДБН Б.1.1-14:2021 «Склад і зміст генерального плану населеного пункту». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98055.

References

1. Xhafa, S., Kosovrasti, A. (2015) Geographic information systems (GIS) in urban planning. *European Journal of Interdisciplinary Studies*. Vol. 1, Nr. 1. P. 85-92.
2. Karpinsky, Yu., Lazorenko-Hevel N. (2020) System model of topographic mapping in the national infrastructure of geospatial data in Ukraine. *Geodesy, cartography and aerial photography*. Issue 92. P. 24–36. [in Ukrainian]
3. Reddy P. (2021) Implication of GIS on sustainable urban planning and management in Uganda. *International Journal of Technology and Systems*. 6(1). P. 15-27. DOI <https://doi.org/10.47604/ijts.1268>.
4. Yang, Y., Wang, D., Yan, Z., Zhang, S. (2021) Delineating urban functional zones using u-net deep learning: case study of Kuancheng district, Changchun, China. *Land*. 10(11). 1266. DOI <https://doi.org/10.3390/land10111266>.

5. Toshboeva, R. S. (2024) Artificial intelligence in the cadastral system of Uzbekistan: application problems and solutions. *Naturalista campano*. Vol. 28(1). P. 1584-1594.
6. Annanias, Y., Windolph, J., Wehlitz, R., Wiegrefe, D. (2022) An interactive decision support system for analyzing and linkage of weather-related restrictions of opencast lignite mines. 2022. Retrieved from: <https://doi.org/10.36730/2022.1.levia.2>.
7. Yalovega V. A. Methods of processing multispectral images in a computerized system based on deep learning neural networks: dissertation ... Doctor of Philosophy: 123. Kharkiv, 2024. 211 p. [in Ukrainian]
8. LiDAR Basics. Retrieved from: <https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/lidar-basics>.
9. OpenStreetMap: Retrieved from: <https://www.openstreetmap.org>.
10. QGIS. Retrieved from: <https://qgis.org>.
11. Google Earth Engine. Retrieved from: <https://earthengine.google.com>.
12. Kazantseva, L. V., Kokshaykin, M. G., Salata S. A. (2021) Remote sensing devices of the period of aerial photography. *Studies in the history and philosophy of science and technology*. Vol. 30, No. 2. P. 41–59. [in Ukrainian]
13. Butenko, E., Nevoit, N. (2021) Peculiarities of geodesic works with the use of UAVs for the needs of land management. *Land management, cadastre and land monitoring*. Is. 1. P. 95–102. DOI <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2021.01.08>.
14. Kang X. (2024) Research on the application of total stations and drones in urban building surveying. *Journal of Environmental and building engineering*. Vol. 1 No. 2. DOI <https://doi.org/10.70767/jebe.v1i2.343>.
15. Dorozhko Ye., Onyshchenko O. (2023) Comparative analysis of geospatial data collection methods for the construction of digital models of the location. *SWorldJournal*. Vol. 22-01. P. 55–60. DOI <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-22-01-056>.
16. Voitenko S.P. (2012) Engineering geodesy: Textbook. K.: Znannya. 574 p. [in Ukrainian]
17. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On Approval of the Procedure for Development, Updating, Amendments and Approval of Urban Planning Documentation”

dated September 1, 2021 No. 926. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/926-2021-%D0%BF#Text>. [in Ukrainian]

18. Law of Ukraine “On Regulation of Urban Planning Activities” dated February 17, 2011 No. 3038-VI. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>. [in Ukrainian]

19. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On the Urban Planning Cadastre” dated 25.05.2011 No. 559. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/559-2011-%D0%BF#Text>. [in Ukrainian]

20. DBN B.1.1-13:2021 “Composition and content of urban planning documentation at the state and regional levels”. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98055. [in Ukrainian]

21. DBN B.1.1-14:2021 “Composition and content of the general plan of a settlement”. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98055. [in Ukrainian]

Рецензент: д-р екон. наук, проф. К.А. Мамонов, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова.

Автор: ПІЛІЧЕВА Марина Олегівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
земельного адміністрування та геоінформаційних
систем

Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – maryna.pilicheva@kname.edu.ua

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1733-7534>

Автор: ДАНИЛЮК Антон Анатолійович
аспірант кафедри земельного адміністрування та
геоінформаційних систем

Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – anton.danyliuk@kname.edu.ua

ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4346-0941>

ANALYSIS OF GEODESIC METHODS AND REMOTE SENSING DATA FOR FORMING CARTOGRAPHIC SUPPORT FOR URBAN PLANNING DOCUMENTATION

M. Pilicheva, A. Danyliuk

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

The development of urban planning documentation is closely related to ensuring accurate and up-to-date geospatial data. In the process of using modern methods, such as global navigation satellite systems (GNSS), lidar scanning, satellite imagery and aerial photography, numerous issues arise related to the integration of data from different sources, which include: lack of a single methodology for standardization and storage of data; the presence of shortcomings in the accuracy and relevance of geospatial information; low level of interoperability between existing geographic information systems (GIS) and cadastral systems. The purpose of this article is to study and systematize modern remote sensing methods, as well as their role in updating urban planning documentation in comparison with other methods. Particular attention should be paid to aerial photography using unmanned aerial vehicles (UAVs), which are characterized by high image detail, ease of use in local areas and cost-effectiveness. At the same time, we emphasize the need to integrate lidar scanning to create three-dimensional terrain models, which is important for areas with complex terrain or dense development. This article also highlights that automation of data processing and integration of results into geographic information systems is a key factor in increasing the efficiency of updating urban documentation. The article presents the structure of urban planning documentation in Ukraine at the state, regional and local levels, as well as proposes methods for updating its cartographic support. However, in

order to fully realize the potential of remote sensing methods, further improvement of the regulatory framework and investments in the development of relevant technologies are necessary. The implementation of these solutions will help create a standardized methodology for supporting mapping that takes into account the specifics of local territories, environmental problems and the needs of sustainable development. This will ensure a high level of planning accuracy, minimize risks and contribute to effective land resource management.

Keywords: *geographic information system, remote sensing data, geodetic methods, urban planning documentation, automation.*