

М.О. Пілічева<sup>1</sup>, Л.О. Маслій<sup>1</sup>, Т.В. Анопрієнко<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна<sup>2</sup>Державний біотехнологічний університет, Україна

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ ТЕРИТОРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Стаття присвячена дослідженню технології інвентаризації зелених насаджень території з використанням новітніх технологій: безпілотних літальних апаратів та супутникових навігаційних систем. Визначено порядок виконання геодезичних робіт при інвентаризації зелених насаджень, який включає: створення планово-висотної геодезичної мережі супутниковими методами для проведення аерофотозйомки; комплекс робіт з аерофотозйомки з використанням безпілотного літального апарату; обробка аерофотознімків; створення топографічного плану подеревної зйомки території. Матеріали топографічної зйомки можуть бути використані для розрахунку вартості робіт по розробці паспорту на об'єкт благоустрою та інвентаризаційного плану об'єкта благоустрою.

**Ключові слова:** геодезичні роботи, зелені насадження, інвентаризація, безпілотний літальний апарат, супутникові технології.

### Постановка проблеми

Зелені насадження відіграють важливу роль у формуванні безпечного та комфортного життєвого простору людини і потребують регулярних заходів щодо їх захисту, відтворення та примноження. На сьогоднішній день стан зелених насаджень в населених пунктах України має тенденцію постійного зменшення їх площ та нерівномірне забезпечення мешканців у різних регіонах [1]. Цьому фактору сприяє сучасна урбанізація, яка призводить до фундаментальних екологічних проблем. Зміна клімату, глобалізація і прискорена урбанізація в свою чергу сприяють розгляду таких питань як міська екологія та екологічно збалансований розвиток міських територій, що є осередком трансформаційних процесів.

Вразливість зелених насаджень у населених пунктах спричиняє зменшення виконання ними важливих функцій з відповідною втратою переваг для мешканців, міської інфраструктури та природного біорізноманіття. Отже виникає необхідність комплексного вирішення питань формування екологічно збалансованого міського середовища для забезпечення нормальних умов проживання людей нинішнього і майбутніх поколінь. За таких умов процес впорядкування зелених насаджень, як система заходів щодо вирішення вищевказаних проблем, набуває важливого значення для зеленого будівництва.

Реалізація таких заходів можлива лише за умови наявності достовірної, оперативної та актуальної

інформації про кількісний і якісний стан зелених насаджень населених пунктів, яку отримують у ході проведення їх інвентаризації та впорядкування. Проте, цей процес, як і будь-яка сучасна методика отримання, обробки, обліку, аналізу та збереження даних, не може функціонувати без залучення переваг новітніх технологій. Отже розробка технології інвентаризації зелених насаджень території з використанням сучасних технологій є актуальною задачею сьогодення.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемам інвентаризації зелених насаджень населених пунктів присвячені роботи як вітчизняних так і зарубіжних вчених. У роботі [2] представлено технологію візуальної оцінки якості насаджень, зокрема щодо визначення ступеня пошкоджень дерев, за результатами якої розроблено інвентаризаційну карту з використанням ГІС-технологій. Розробка інвентаризаційної карти дає можливість дізнатися інформацію про стан зелених насаджень міста (кількість, види, вік, хвороби та ушкодження тощо).

У роботах [3–5] розглянуто питання створення електронної бази даних зелених насаджень за результатами їх інвентаризації. Зроблено акцент на необхідності прив'язки інвентаризаційних даних до картографічної основи, що формує умови для побудови електронних карт розташування рослинності та геоінформаційних моделей урболандшафтів. Запропонована архітектура тематичних шарів геоінформаційної моделі зелених насаджень, яка включає в себе растрові шари картографічних матеріалів та даних

дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), векторних даних результатів інвентаризації зелених насаджень та атрибутивних таблиць. Це дає змогу компанувати їх у довільному поєднанні, оперувати ними відповідно до завдань, які ставляться у процесі їх впорядкування, та забезпечувати інтерпретацію наявної у базі даних семантичної інформації.

Аналізу представлення результатів інвентаризації зелених насаджень у зарубіжних країнах присвячено роботи [6–11], де також наголошено про доцільність використання геоінформаційних технологій при розробці інвентаризаційних карт та планів зелених насаджень.

Розглянуті вище наукові статті частково розглядають питання використання даних дистанційного зондування та геоінформаційних технологій при візуалізації результатів інвентаризації та моніторингу зелених насаджень, але при цьому мало приділено уваги технологічним процесам обробки даних ДДЗ, зокрема зображень з безпілотних літальних апаратів, тому цей напрямок потребує подальшого дослідження та конкретизації.

**Метою цієї статті** є дослідження технологічного процесу інвентаризації зелених насаджень з використанням безпілотних літальних апаратів.

### Виклад основного матеріалу

Відповідно до вимог Положення про державну систему моніторингу довкілля [12] та з метою охорони і збереження зелених насаджень у містах та інших населених пунктах, їх утримання у здоровому і упорядкованому стані, створення бази даних для розроблення програм будівництва, відновлення та експлуатації об'єктів зеленого господарства, було прийнято Інструкцію з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України [13].

Інвентаризація об'єктів зеленого господарства здійснюється з метою [13]:

- одержання достовірних даних щодо кількісних і якісних характеристик зелених насаджень на території населеного пункту;

- посилення відповідальності за збереження зелених насаджень балансоутримувачів, власників чи користувачів земельних ділянок, підприємств, організацій, установ, на території яких розташовані зелені насадження;

- сприяння створенню та формуванню високодекоративних і екологічно ефективних та стійких до несприятливих умов навколишнього природного середовища насаджень;

- використання даних інвентаризації під час розроблення у населених пунктах програм розвитку зеленого господарства;

- відновлення, реконструкції та експлуатації об'єктів зеленого господарства та проведення в необхідних випадках профілактичних, лікувальних

заходів; організації невиснажливого використання озелених територій;

- установа відповідності кількості зелених насаджень чинним будівельним та санітарним нормам.

Інвентаризація зелених насаджень проводиться суб'єктами господарювання, які проводять технічну інвентаризацію об'єктів нерухомого майна за погодженням з виконавчими органами міських, селищних, сільських рад раз на п'ять років з квітня до жовтня і передбачає [13]:

- визначення загальної площі, зайнятої об'єктами зеленого господарства, у тому числі деревами, чагарниками, квітниками, газонами, стежками тощо;

- визначення кількості дерев і чагарників за видами насаджень, породами, віком, діаметром на висоті 1,3 м стовбурів дерев та стану їхнього утримання;

- визначення вартості об'єкта загалом і його окремих ділянок;

- вчасне внесення змін, які відбулися в зелених насадженнях, у креслення, паспорти об'єктів зеленого господарства та зведені дані про зелені насадження населеного пункту.

У результаті проведення інвентаризації на кожний об'єкт зеленого господарства складається паспорт об'єкта благоустрою зеленого господарства, який затверджується власником, користувачем, балансоутримувачем, керівником підприємства, організації, установи, на території яких розташовані зелені насадження, та підписується виконавцем робіт з інвентаризації. До паспорта додаються такі документи:

- інвентаризаційний план залежно від площі об'єкта (крім насаджень уздовж вулиць, план яких складається тільки в масштабі 1:500) у таких масштабах:

- до 5,0 га – 1:500;

- від 5,0 до 25,0 га – 1:1000 чи 1:2000;

- понад 25,0 га – 1:2000 чи 1:5000;

- робочий щоденник обліку зелених насаджень.

На плани об'єктів зеленого господарства наносяться усі будівлі, споруди, водоймища, опори електричних, телефонних та радіомереж, оглядові колодязі інженерних мереж, стаціонарні водополивальні мережі, лавки, канави, дерева, чагарники, живоплоти, квітники.

Однією із ланок інвентаризації зелених насаджень населеного пункту є подеревна зйомка, яка сьогодні виконується із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та супутникових технологій і в свою чергу складається з топографо-геодезичних і аерофотознімальних робіт, та поділяється на такі етапи (рис. 1):

I – збір інформації;

II – підготовчі роботи;

III – камеральні роботи.



Рис. 1. Етапи проведення подеревної зйомки при інвентаризації зелених насаджень

Запропоновані етапи виконання подеревної зйомки розглядаються на прикладі інвентаризації зелених насаджень Харківського електромеханічного коледжу Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова (ХЕМК). Площа земельної ділянки ХЕМК дорівнює 2,32 га, тому результатом подеревної зйомки згідно Інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України [13] має бути топографічний план масштабу 1:500 (площа не перевищує 5,0 га).

На першому етапі виконання подеревної зйомки виконується збір інформації на об'єкт геодезичних робіт ХЕМК. Під час виконання цього етапу була зібрана і проаналізована наступна інформація: технічний паспорт БТІ на будівлю коледжу, технічна документація із землеустрою, два планшети топографічних планів масштабу 1:500 у місцевій системі координат та ортофотоплан масштабу 1:5000, на якому проектувалися місця маркувальних знаків.

Другий етап – підготовчі роботи, складається з польових геодезичних і аерофотознімальних робіт. До польових геодезичних робіт відносяться рекогностування місцевості та розвиток планово-висотного обґрунтування ділянки аерофотозйомки.

Під час рекогностування місцевості визначалося розташування опознаків. Місця для опознаків, обиралися таким чином щоб їх було добре видно під час польоту БПЛА для цього вони маркувалися білою фарбою (рис. 2). Таким чином на території об'єкту виконання геодезичних робіт було створено геодезичну мережу з 21 маркувальними знаками, які надалі використовувалися для прив'язки знімків у програмі Agisoft та створення ортофотоплану.

Розвиток планово-висотного обґрунтування виконувався супутниковими спостереженнями для визначення координат опознаків. Спостереження велись GNSS-приймачем Leica Viva GS14 в RTK режимі, в якому диференційні GNSS поправки

передаються з базової станції на роверний GNSS приймач по каналу бездротового зв'язку саме під час зйомки, а не обробляються після GNSS спостережень при камеральних роботах.



Рис. 2. Приклад маркування опознаків 5, 6 та 7

Польові аерофотознімальні роботи включають в себе:

- створення проекту польоту БПЛА;
- передполітна підготовка БПЛА;
- виконання зйомки БПЛА.

Після визначення координат, був створений проект польоту та виконана аерофотозйомка запроєктованої місцевості.

Для проведення аерофотозйомки використовувався БПЛА DJI Phantom 4. Згідно технічних характеристик він призначений для створення великомасштабних планів і карт, що працює на невеликих висотах. У дрон вбудований модуль RTK, що забезпечує отримання даних позиціонування в режимі реального часу з точністю до сантиметра та мінімальною абсолютною похибкою метаданих зображення.

Польові аерофотознімальні роботи полягають у створенні проекту польоту, передполітній підготовці квадрокоптера та безпосередньому проведенні аерознімальних робіт.

Проектування польоту виконано у програмі Mission Planner. Даний сценарій передбачає застосування методу Survey Grid (політ за маршрутом). Метод передбачає виділення площі, вибір моделі камери, яка використовується, значень поздовжніх і поперечних перекриттів для знімків та інші налаштування польотного завдання (курс польоту, висота, швидкість, точки автоматичного зльоту і посадки).

Також була врахована інформація про об'єкт знімання (площа, місце розташування), масштаб створюваного ортофотоплану та роздільну здатність зображення, погодні умови на час виконання знімання.

Маршрути вирівнювалися таким чином, щоб довші ділянки пролягали перпендикулярно до напрямку вітру, а розвороти при заході на наступний маршрут проти вітру. Відкориговані параметри поздовжнього і поперечного перекриття для знімків,

що в свою чергу зменшило кількість маршрутів. Довжину маршрутів збільшено до 50 метрів за межами ділянки знімання для виконання розворотів БПЛА та заходу на новий маршрут.

При створенні проекту польоту БПЛА була запроєктована точка зльоту і посадки дрона, яка розташовувалася на відкритому просторі майданчику, щоб забезпечити безпечний зліт і посадку. Також проектувалися додаткові точки для виконання зльоту проти напрямку вітру та забезпечення плавного набору висоти. Посадка і зліт виконувалася проти вітру.

Передполітна підготовка квадрокоптера полягає у керуванні квадрокоптером в ручному та автоматичному режимах. В даній роботі виконувалася передполітна підготовка для автоматичного режиму польоту. Відповідно було проведено збирання квадрокоптера виконана підготовка пульта дистанційного управління. Для забезпечення стабільності роботи дрону перед першим польотом виконано калібрування компаса та передполітні перевірки згідно вимог з експлуатації БПЛА.

Виконання зйомки за допомогою БПЛА складається безпосередньо з аерознімання та геодезичної прив'язки. Для реалізації вимог технічного завдання (проведення подеревної зйомки у місцевій системі координат), використовувались технології PPK (Post Processing Kinematic) замість RTK (Real Time Kinematic) для отримання координат центрів фотографування з сантиметровою точністю. Дана технологія дозволяє виконати зрівняння траєкторії польоту щодо перманентної базової станції вже після виконання польоту при проведенні камеральних робіт. Для вирішення цієї задачі був підключений DJI PPK service, який дозволяє безпосередньо на пульті скорегувати положення центрів фото даних, використовуючи PPK-технологію.

Фотозйомка земельної ділянки ХЕМК згідно з польотним завданням БПЛА виконана в автоматичному режимі з використанням спеціальної спектральної камери. Отриманий комплект зображень (деякі з них показані на рис. 4), який після необхідної обробки, став основою ортофотоплану з прив'язкою до координат на місцевості.



Рис. 3. Приклади зображень, отриманих з БПЛА

У якості планово-висотних пізнавальних знаків (маркерів) використані штучні маркери, які можна точно ідентифікувати на знімках і використати їх для геодезичної прив'язки. Просторові координат маркерів визначені шляхом GNSS-спостережень в режимі RTK.

Камеральні роботи є третім заключним етапом, який складається з: обробки аерофотознімків; створення полігональної моделі місцевості; створення ортофотоплану М 1:500; створення топографічного плану у програмному комплексі Digital; рекогноскування місцевості для уточнення просторових і атрибутивних даних про зелені насадження; створення скорегованого топографічного плану інвентаризації зелених насаджень.

Обробка матеріалів аерофотозйомки виконувалась у програмі Agisoft PhotoScan Professional за наступним алгоритмом (рис. 4):

- вирівнювання фотознімків;
- прив'язка моделі в необхідній системі координат;
- оптимізація;
- побудова щільної хмари точок, формування полігональної моделі місцевості;
- експорт ортофотоплану та 3D-моделі.

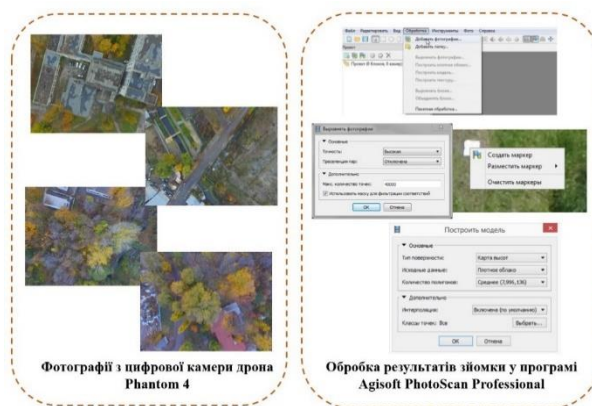


Рис. 4. Обробка аерофотозйомки у програмі Agisoft PhotoScan Professional

На етапі вирівнювання фотознімків, виконується: пошук спільних точок на знімках, визначення елементів взаємного орієнтування знімків, формування первинної моделі місцевості, що складається із спільних точок (розрідженої хмари точок).

Вирівнювання фотознімків полягає у маркуванні опорних точок і присвоєння відповідних координат наземними опорними точками, а потім – оптимізація прив'язки.

Прив'язка моделі в необхідній системі координат може виконуватися за координатами центрів фотографування (КЦФ), за координатами точок наземної опорної мережі або по тим і іншим способом. КЦФ завантажують разом зі знімками і використовуються на етапі вирівнювання (alignment),

а координати наземних точок завантажуються після формування первинної моделі, і за ними проводиться точна прив'язка. Маркери в PhotoScan – це мітки (марки) опорних точок, які використовуються для прив'язки моделі і контролю точності. В роботі встановлення маркерів виконувалось у ручному режимі.

Після вибору системи координат та їх введення у відповідній таблиці виконується процедура оптимізації, результати оптимізації відображаються в таблиці вихідних значень.

На етапі побудови щільної хмари точок проводиться повторний пошук спільних точок і визначення їх координат. Завдяки тому, що параметри взаємного орієнтування знімків вже відомі, для кожної точки на одному знімку область, в якій може перебувати відповідна їй точка на іншому знімку, відома і відносно невелика. Це дозволяє визначати загальні точки вірогідніше і суттєво підвищити їх кількість і щільність. Причому положення цих точок вже уточнене за результатами оптимізації на основі координат опорних точок.

PhotoScan розраховує карти глибин для всіх знімків. Внаслідок різних факторів – поганої текстури деяких об'єктів, шумів, нерізкості тощо. Положення деяких точок може бути визначено неправильно – вони можуть в тій чи іншій мірі «провалюватися» або «підніматися» щодо оточуючих точок. Такі точки – випадкові викиди відфільтровуються.

Побудова цифрової моделі місцевості (матриці висот) і ортофотоплану в PhotoScan виконується з використанням полігональної моделі місцевості. Модель формується на основі триангуляції за точками щільної хмари, частина точок при цьому фільтрується. Модель будується триангуляцією за точками щільної хмари і спрощенням отриманої поверхні таким чином, щоб зберігалася максимальна деталізація при мінімально необхідній кількості граней (полігонів) моделі.

Деталізація отриманої моделі, як правило, надмірна, тому після триангуляції проводиться фільтрація надлишкових полігонів – децимація.

Після виконання полігональної моделі місцевості, заключним етапом опрацювання матеріалів аерознімання для створення ортофотоплану місцевості є побудова та експорт ортофотоплану.

При побудові ортофотоплану обирається тип проекції, яка була прийнята при оптимізації камер. В роботі використовувалась система координат WGS-84 і площина проекції – зверху XY.

В результаті камеральної обробки аерофотозйомки з подальшим перетворенням знімків за допомогою методів ортотрансформування, отримали ортофотоплан земельної ділянки ХЕМК на точній геодезичній основі (рис. 5).

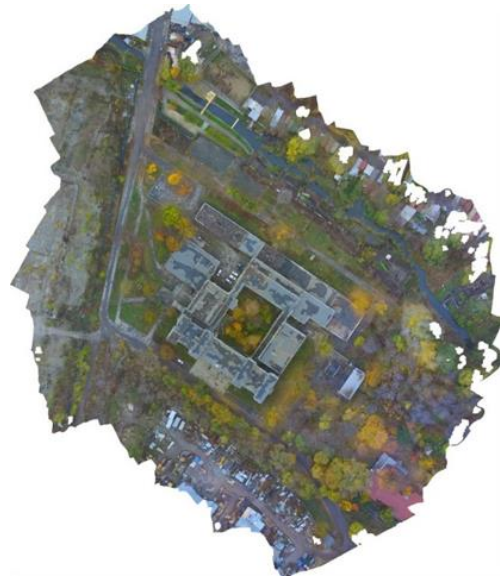


Рис. 5. Ортофотоплан ХЕМК ім. О.М. Бекетова

Далі для виконання проекту топографо-геодезичної зйомки з інвентаризації зелених насаджень необхідно створити топографічний план масштабу 1:500 у програмному комплексі Digitals. Для цього растрове зображення ортофотоплану було завантажено в програму Digitals модуль «Сбір», в якому виконана трансформація. Тому що ортофотоплан, який створений в програмі Agisoft PhotoScan Professional мав нерівні зубчасті границі та інші дефекти за рахунок недоліків полігональної моделі на краях ділянки. Новий трансформований ортофотоплан у програмі Digitals представлений на рисунку 6.

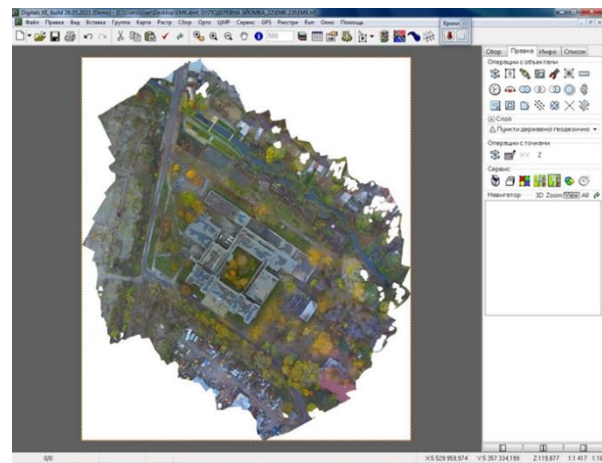


Рис. 6. Трансформований ортофотоплан у програмі Digitals

Новий трансформований ортофотоплан був оцифрований згідно масштабу 1:500 з відповідними умовними знаками (рис. 7). Після перерахування координат із системи координат СК63 у місцеву систему координат, файл із Digitals був експортований у програму AutoCAD для подальшого

проведення камеральних робіт – уточнення положення зелених насаджень.

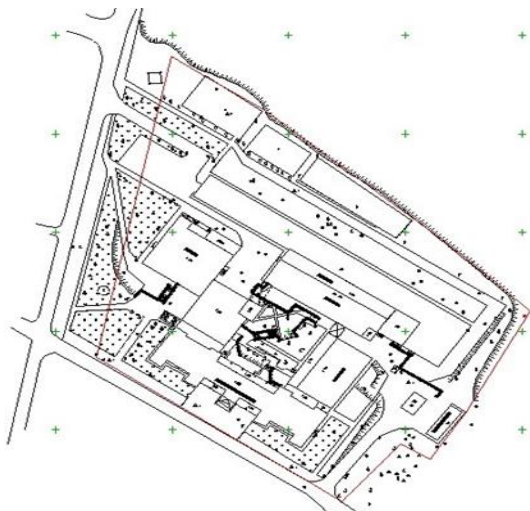


Рис. 7. Топографічний план масштабу 1:500

Для уточнення положення зелених насаджень та виявлення похибок при проведенні аерофотозйомки з використанням БПЛА необхідно створити ще один топографічний план для порівняння. Цей план створений на основі растрів топографічної зйомки 2000 року, які теж були прив'язані і оцифровані у програмному комплексі Digitals в місцевій системі координат масштабу 1:500 та експортований у програму AutoCAD.

Робота по створенню двох топографічних планів інвентаризації дерев та зелених насаджень виконувалась тому, що по-перше аерофотозйомка над територією коледжу виконувалася в ту пору року, коли листя з дерев і кущів не опало. Це зважало встановлювати положення стовбура дерева при оцифруванні ортофотоплану. По-друге для порівняння топографічної зйомки 2000 року з аерофотозйомкою 2021 року і виявлення розбіжностей між двома створеними топографічними планами.

Під час поєднання топографічних планів за допомогою прив'язки по координатам у програмі AutoCAD, з'ясувалося що положення кутів будівель в межах 1÷5 сантиметрів, що задовольняє точності масштабу, а положення дерев в деяких місцях плану досягало 1 метра. Така похибка для масштабу 1:500 є не прийнятною (для подеревної зйомки 0,5 м). Виявлена похибка обумовлена тим, що під час польоту були пориви вітру і дрон відхилявся від заданого маршруту.

На останньому етапі для корегування топографічного плану було виконано рекогносрування земельної ділянки ХЕМК, під час якої лінійними засічками з прив'язкою до твердих контурів вимірювалось положення дерев в тих місцях, де виявлено велику похибку та склалися абриси. Також паралельно виконувалося уточнення порід

дерев згідно умовних знаків. Згідно складених абрисів виконано корегування положення дерев і відповідні їм умовні позначення. Скорегований топографічний план топографо-геодезичної зйомки земельної ділянки ХЕМК, фрагмент якого представлений на рисунку 8.



Рис. 8. Фрагмент скорегованого топографічного плану ХЕМК

Матеріали топографічної зйомки можуть бути використані для розрахунку вартості робіт по розробці паспорта на об'єкт благоустрою та інвентаризаційного плану об'єкта благоустрою.

## Висновки

Дані проведених досліджень свідчать про необхідність застосування сучасних інформаційних технологій при інвентаризації зелених насаджень населених пунктів. Визначено порядок проведення подеревної зйомки з використанням сучасних технологій, а саме аерофотознімання, який включає:

- створення планово-висотної геодезичної мережі супутниковими методами для проведення аерофотозйомки;
- комплекс робіт з аерофотозйомки з використанням безпілотного літального апарату;
- обробка аерофотознімків;
- створення топографічного плану подеревної зйомки території.

Отримана таким чином цифрова інформація про зелені насадження може бути використана для розрахунку вартості робіт по розробці паспорта об'єкта благоустрою та інвентаризаційного плану на задану територію або створювати і розвивати геоінформаційні портали зелених насаджень окремих територій або населених пунктів.

## Література

1. Міністерство розвитку громад та територій України. Благоустрій територій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-divalnosti/zkh/terretory/>
2. Максименко Н.В. Моніторинг стану зелених насаджень Шевченківського району м. Харків (на прикладі

гіркокашттану (*aesculus hippocastanum l.*) / Н.В. Максименко, О.О. Гололобова, І.М. Коваль, О.І. Калиновський // *Проблеми неоекології*. – 2021. – № 36. – С. 56–71. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-05>

3. Бідолах Д.І. Дистанційне дослідження об'єктів садово-паркового господарства з використанням дронів / Д.І. Бідолах, В.С. Кузьович // *Український Журнал лісівництва та деревинознавства*. – 2016. – № 255. – С. 201–209.

4. Бідолах Д.І. Інвентаризація зелених насаджень з використанням сучасних інформаційних технологій [Електронний ресурс] / Бідолах Д.І., Лакида П.І. – Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lis/article/view/13631>

5. Лакида П.І. Просторова база даних урболандшафтів на прикладі зелених насаджень міста Бережани / П.І. Лакида, Д.І. Бідолах, В.С. Кузьович // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2020. – Т. 30. – № 4. – С. 51–56. DOI: <https://doi.org/10.36930/40300409>

6. Baro F. Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities / Baro F., Haase D., Gomez-Baggethun E., Frantzeskaki N. // *Ecological Indicators*. – 2015. – Vol. 55. – Pp. 146–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.013>

7. Debelaya I.D., Morozova G.U. Cartographic study of the dynamics of green spaces of an industrial metropolis / Debelaya I.D., Morozova G.U. – 2018. – Vol. 3(69). – Pp. 75–80. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.69.003>

8. Krueger R. Urban Tree Mapping. Worcester Polytechnic Institute [Електронний ресурс] / Krueger R., Konrad R. – Режим доступу: [https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-030910-161927/unrestricted/Urban\\_Tree\\_Mapping.pdf](https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-030910-161927/unrestricted/Urban_Tree_Mapping.pdf)

9. Namwamba F. GIS/GPS-Technology based tree inventory and spatial modeling training for college and high school students [Електронний ресурс] / Namwamba F., Davies P., Lyles L. – Режим доступу: <https://proceedings.esri.com/library/userconf/educ05/papers/pap1749.pdf>

10. Nielsen A. Review of urban tree inventory methods used to collect data at single-tree level / Nielsen A., Ostberg J., Delshammar T. // *Arboric. Urban For.* – 2014. – Vol. 40. – Pp. 96–111. DOI: <http://dx.doi.org/10.48044/jauf.2014.011>

11. Update on the OGD Cadastre of Trees of Vienna in OpenStreetMap, GISForge [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gisforge.wordpress.com/2015/01/02/update-on-the-ogd-cadastre-of-trees-ofvienna-in-openstreetmap/>

12. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» від 30 березня 1998 р. № 391 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text>

13. Наказ Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України «Про затвердження Інструкції з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України» від 24 грудня 2001 р. № 226 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0182-02#Text>

## References

1. Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine. Landscaping. URL: <https://www.mimregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/tenetory/> [in Ukrainian]

2. Maksimenko, N., Gololobova, O., Koval, I., Kalinovsky O. (2021). Monitoring of the state of green plantations of Shevchenkivskyi district of Kharkiv (on the example of bitter chestnut (*aesculus hippocastanum l.*)). *Problems of neoecology*, 36, 56–71. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-05> [in Ukrainian]

3. Bidolakh, D., Kuziovych, V. (2016). Remote research of garden and park facilities with the use of drones. *Ukrainian Journal of Forestry and Wood Science*, 255, 201–209. [in Ukrainian]

4. Bidolakh, D., Lakida, P. (2019). Inventory of green plantations using modern information technologies. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lis/article/view/13631> [in Ukrainian]

5. Lakida, P., Bidolakh, D., Kuziovych V. (2020). Spatial database of urban landscapes on the example of green plantations of the city of Berezhany. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, 30, 51–56. DOI: <https://doi.org/10.36930/40300409> [in Ukrainian]

6. Baro, F., Haase, D., Gomez-Baggethun, E., Frantzeskaki, N. (2015). Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. *Ecological Indicators*, 55, 146–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.013>

7. Debelaya, I., Morozova, G. (2018). Cartographic study of the dynamics of green spaces of an industrial metropolis, 3(69), 75–80. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.69.003>

8. Krueger, R., Konrad, R. (2015). Urban Tree Mapping. Worcester Polytechnic Institute. URL: [https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-030910-161927/unrestricted/Urban\\_Tree\\_Mapping.pdf](https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-030910-161927/unrestricted/Urban_Tree_Mapping.pdf)

9. Namwamba, F., Davies, P., Lyles, L. (2014). GIS/GPS-Technology based tree inventory and spatial modeling training for college and high school students. URL: <https://proceedings.esri.com/library/userconf/educ05/papers/pap1749.pdf>

10. Nielsen, A., Ostberg, J., Delshammar, T. (2014). Review of urban tree inventory methods used to collect data at single-tree level. *Arboric. Urban For.*, 40, 96–111. DOI: <http://dx.doi.org/10.48044/jauf.2014.011>

11. Update on the OGD Cadastre of Trees of Vienna in OpenStreetMap, GISForge. URL: <https://gisforge.wordpress.com/2015/01/02/update-on-the-ogd-cadastre-of-trees-ofvienna-in-openstreetmap/>

12. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the Regulations on the state system of environmental monitoring» from March, 30, 1998, No 391. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text> [in Ukrainian]

13. Order of the State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine «On approval of the Instruction on the inventory of green spaces in settlements of Ukraine» from December, 24, 2001, No 226. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0182-02#Text> [in Ukrainian]

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

**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@gmail.com](mailto:maryna.pilicheva@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1733-7534>

**Автор:** АНОПРІЄНКО Тетяна Володимирівна  
кандидат економічних наук, доцент, доцент  
кафедри управління земельними ресурсами та  
кадастру  
Державний біотехнологічний університет  
E-mail – [atatyanav2017@gmail.com](mailto:atatyanav2017@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7143-0591>

**Автор:** МАСЛІЙ Любов Олексіївна  
старший викладач каф. земельного адміністрування  
та геоінформаційних систем  
Харківський національний університет міського  
господарства імені О.М. Бекетова  
E-mail – [gnomomir@gmail.com](mailto:gnomomir@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3844-462X>

### TECHNOLOGY OF GEODESIC WORKS IN THE INVENTORY OF GREEN SPACES USING UNMANNED AIRCRAFT

M. Pilicheva<sup>1</sup>, L. Maslii<sup>1</sup>, T. Anopriienko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>State Biotechnological University, Ukraine

*The article is devoted to the study of the technology of inventory of green areas with the use of the latest technologies: unmanned aircraft and satellite navigation systems. The topic of the article is relevant, because reliable and up-to-date information on the quantitative and qualitative state of green spaces of settlements is obtained during their inventory and arrangement. As a result of conducting an inventory for each green economy object, a passport of the green economy improvement object is drawn up. The following documents are attached to the passport: an inventory plan on a given scale and a working diary of accounting for greenery. One of the links in the inventory of green spaces of the settlement is sub-field survey, which is currently performed using unmanned aerial vehicles and satellite technologies and in turn consists of topographic and geodetic and aerial photography, and is divided into the following stages: information collection; preparatory work; chamber work. At the stage of collecting information on the object of work, the available urban, land management, geodetic and cartographic materials are analyzed. The second stage – preparatory work, consists of field surveying and aerial photography. Field geodetic works include reconnaissance of the area and the development of plan-height substantiation of the aerial survey area. Field aerial photography consists of creating a flight project, pre-flight training of a quadcopter and direct aerial photography. In-house works are the third final stage, which consists of: processing of aerial photographs; creation of a polygonal terrain model; creation of orthophoto in scale 1: 500; creation of a topographic plan in the Digital software package; reconnaissance of the area to clarify the spatial and attributive data on greenery; creation of the adjusted topographic plan of inventory of green spaces. It is also recommended to make adjustments to the obtained topographic plan, during which the position of trees in places where a large error was detected and outlines were formed was measured by linear notches with reference to rigid contours. At the same time it is necessary to clarify the species of trees according to the symbols. The digital information obtained in this way about green plantations can be used to calculate the cost of work on the development of the passport of the facility and inventory plan for a given area or create and develop geographic information portals of green areas of individual territories or settlements.*

**Keywords:** geodetic works, green spaces, inventory, unmanned aircraft, satellite technologies.