

## **АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ВИКОНАННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНІМАННЯ МЕЛІОРОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ**

### **Олексій Ситник**

канд. географ. наук, доцент кафедри географії, геодезії та землеустрою,  
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини  
ORCID: 0000-0002-8120-7032  
E-mail: sytnykuman@gmail.com

### **Любов Безлатня**

канд. географ. наук, доцент кафедри географії, геодезії та землеустрою,  
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини  
ORCID: 0000-0002-6567-0983  
E-mail: LubovBezlatnya@gmail.com

*Сучасний розвиток інформаційних технологій в області геодезії, картографії та інтеграція із суміжними галузями науки заклали нові основи в принципи отримання, обробки та зберігання просторової інформації. Одним з важливих питань під час виконання великомасштабної зйомки території меліоративних систем та меліорованих земель є вибір ефективної методики і технології створення із застосуванням новітніх інтегрованих комплексів, які привели б до швидкого, абсолютно нового виду збору і якості інформації, зниження вартості і скорочення термінів виконання робіт.*

*Проведено теоретичний розрахунок величин точності для окремо виділеного об'єкту та літального апарату. Було показано весь цикл польових робіт, на безпосередньому прикладі реально виконаних робіт, з подальшим порівнянням результату отриманого за допомогою БПЛА, з результатом, який отриманий на основі RTK-знімання. Також проведено кошторисний, організаційний та охоронний аналізи виконаних робіт.*

*Обґрунтовано головні переваги та недоліки використання БПЛА для виконання топографо-геодезичних робіт*

*Ключові слова:* Державний земельний кадастр; світовий досвід; геоінформаційна система; інформаційне забезпечення; програмне забезпечення; метод теодолітної зйомки; БПЛА; лазерне сканування (LIDAR) та радіолокаційне знімання (Radar).

## **ANALYSIS OF MODERN METHODS AND TOOLS FOR SURVEYING AND CONDUCTING LARGE-SCALE GEODETIC MAPPING OF RECLAIMED LANDS**

### **Oleksii Sytnyk**

candidate of geographical sciences, associate professor, associate professor at the department of geography, geodesy and land, Pavlo Tychyna Uman state pedagogical university  
ORCID: 0000-0002-8120-7032  
E-mail: sytnykuman@gmail.com

### **Liubov Bezlatnia**

candidate of geographical sciences, associate professor, associate professor at the department of geography, geodesy and land, Pavlo Tychyna Uman state pedagogical university  
ORCID: 0000-0002-6567-0983  
E-mail: LubovBezlatnya@gmail.com

*The article analyzes and researches modern methods and means of performing geodetic works during large-scale surveying of the territory. In connection with the global changes taking place throughout the territory of Ukraine, the performance of geodetic works during large-scale surveying of the territory of reclamation systems has become an urgent task in the field of geodesy and cartography. The modern development of information technologies*

*in the field of geodesy, cartography and integration with related fields of science laid new foundations in the principles of obtaining, processing and storing spatial information.*

*In recent years, the market of geoinformation systems has taken a leading position. One of the important issues when performing a large-scale survey of the territory of reclamation systems is the choice of an effective method and technology of creation with the use of the latest integrated complexes, which would lead to a fast, completely new type of information collection and quality, reducing costs and shortening the time of work.*

*Taking into account the modern variety of geospatial data collection methods, the question arises of researching technological schemes, accuracy, reliability and operational efficiency of surveys for the review of regulatory and technical documentation for providing topographic mapping, the products of which would correspond to modern achievements in the development of geoinformation technologies, the requirements and needs of the information society.*

*A theoretical calculation of accuracy values for a separately selected object and aircraft was carried out. The entire cycle of field work was shown, using a direct example of actually performed work, followed by a comparison of the result obtained using a UAV with the result obtained on the basis of RTK imaging. Estimated, organizational and security analyzes of the completed works were also carried out.*

*The main advantages and disadvantages of using UAVs for performing topographic and geodetic works are substantiated.*

**Keywords:** *State land cadastre; world experience; geoinformation system; information support; software; theodolite surveying method; UAV; laser scanning (LIDAR) and radar surveying (Radar).*

Необхідною умовою організації ефективного національного господарства загалом та сільськогосподарського виробництва зокрема є отримання об'єктивної та своєчасної інформації про розподіл і використання земельних ресурсів та стан сільськогосподарських угідь, водних ресурсів, динаміку кліматичних та мікрокліматичних чинників тощо. У зв'язку з глобальними змінами, що відбуваються по всій території України, виконання геодезичних робіт під час великомасштабної зйомки території стало актуальним завданням в галузі геодезії і картографії. Сучасний розвиток інформаційних технологій в області геодезії, картографії та інтеграція із суміжними галузями науки заклали нові основи в принципи отримання, обробки та зберігання просторової інформації. Упродовж останніх років ринок геоінформаційних систем виходить на лідируючі позиції. Всі ГІС системи базуються на інформаційних технологіях створення, обробки і комплексного аналізу складно структурованої цифрової картографо-геодезичної інформації. Одним з важливих питань під час виконання великомасштабної зйомки території є вибір ефективної методики і технології створення із застосуванням новітніх інтегрованих комплексів, які привели б до швидкого, абсолютно нового виду збору і якості інформації, зниження вартості і скорочення термінів виконання робіт [20].

Сучасне меліоративне будівництво тісно пов'язане з безліччю технічних, природних, економічних і соціальних чинників. Воно не тільки покращує умови організації сільськогосподарського виробництва і створює умови для підвищення продуктивності сільськогосподарських машин, а й сприяє соціальному перетворенню села [10].

Сучасне функціонування меліоративних систем та питання ефективного використання зрошуваних земель розглядаються в напрацюваннях С. А. Балюка [1, 2], М. І. Ромащенко [18, 19], В. В. Горлачука, В. В. Медведєва, В. А. Ушкаренка, В. В. Морозова, Л. Г. Мельника, Л. Я. Новаковського, А. Я. Сохничя, М. Г. Ступеня, В. М. Трегобчука, А. М. Третяка, О. І. Фурдичка, С. К. Харічкова, М. А. Хвесика та інших науковців. Однак спектр зазначених питань досить широкий і потребує додаткових наукових обґрунтувань, зокрема й на регіональному рівні.

На сьогодні проведення топографічних зніманих регламентуються відповідними нормативними документами серед яких: «Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10000, 1:25000, 1:50000, 1:100000, 1:200000, 1:500000, 1:1000000», затверджені наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України №156 від 31.12.1999 і погоджені з Воєнно-топографічним управлінням Генерального штабу Збройних сил України); «Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98)», затверджений Наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від

9 квітня 1998 р. № 56 та зареєстрований в Міністерстві юстиції України 23 червня 1998 р. за № 393/2833.

Суміжним документом є «Порядок використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою», затверджений Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 02.12.2016 № 509 та зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 19 грудня 2016 р. за № 1646/29776 [15].

Протягом багатьох років технічні схеми топографічного знімання, описані в цих нормативно-технічних документах, відповідали розвиненій картографічній інфраструктурі, створеній у радянський час та у перші роки незалежності України.

11 лютого 2010 р. був прийнятий закон України «Про внесення змін до Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність», який передбачав, що реалізація державної політики у сфері топографо-геодезичної картографічної діяльності організовується і координується відповідним центральним органом виконавчої влади з питань топографо-геодезичної і картографічної діяльності, виходячи із встановленого Кабінетом Міністрів України Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування, затвердженого Постановою № 661 КМУ від 4 вересня 2013 р. Вперше в Законі України йдеться про державні топографічні та тематичні карти. Набуття такого статусу топографічних та тематичних карт вимагає значного підвищення їх інформаційно-технологічного рівня [14].

Очевидно, що чинні нормативно-технічні документи у сфері топографічного картографування не враховували сучасні методи топографічного знімання, не відповідали сучасному рівню розвитку геоінформаційних технологій, не відповідали вимогам суспільства щодо якості, оперативності та достовірності геопросторових даних виявилось перешкодою для їх використання.

На виправлення цієї ситуації гідно наказу Міністерства аграрної політики та продовольства України (№ 1888 від 31.10.2023) був затверджений Порядок створення та функціонування бази топографічних даних [16].

Об'єкт дослідження: меліоративні системи як об'єкт великомасштабної топографічної зйомки місцевості.

Предмет дослідження: сучасні методи та засоби виконання геодезичних робіт під час великомасштабної зйомки території меліоративних систем.

Метою статті є аналіз сучасних методів і засобів під час обстеження та виконання великомасштабного геодезичного знімання меліорованих земель.

Методи дослідження: спостереження, порівняння, абстрагування й конкретизація, аналіз, синтез, моделювання, історичний і логічний методи, метод обробки літературних джерел, структурно-логічне узагальнення, систематизація, історико-генетичний, картографічний, статистичний, математичні методи.

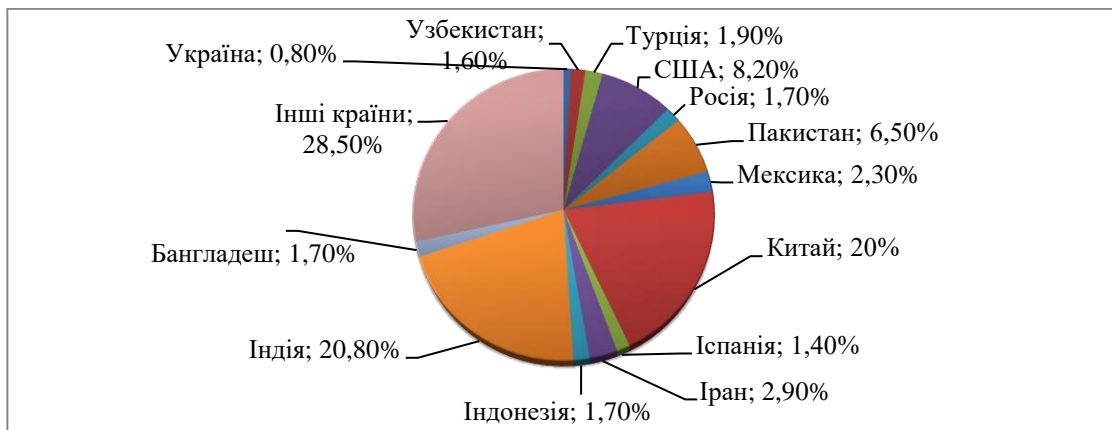
Топографічні карти створюються за використанням методів інженерної геодезії і використовуються для проектування різних об'єктів відповідно до масштабу. Топогеодезичні плани, терміном виконання більше трьох років, передбачають обов'язкове оновлення. Для отримання планів масштабів 1:5000 та 1:2000 доцільно використовувати метод аеротопографічної зйомки [6].

Прогресивним напрямом є складання спеціалізованих планів у вигляді цифрових моделей місцевості, що являють собою множину точок земної поверхні у просторових координатах, які об'єднані у єдину систему за певним математичним законом. Цифрова модель місцевості – це поєднання точок земної поверхні в єдину систему координат за певними математичними законами. Цифрові моделі місцевості створюються за допомогою комп'ютерів шляхом обробки та перетворення вихідної топографо-геодезичної інформації про місцевість, отриманої різними методами зйомки, в картографічні зображення в цифровому форматі, або шляхом перетворення в цифрову форму картографічного зображення [26].

Сучасні великомасштабні аерофотограмметричні і топографічні зйомки виконуються з використанням стереотопографічних або комбінованих методів, залежно від характеру місцевості, обраного масштабу, замовлених термінів виконання робіт і наявного обладнання.

Меліорація земель в Україні є необхідною умовою розвитку сільськогосподарського виробництва. Наразі майже 90% земель України розташовані в посушливих (вододефіцитних) та гумідних (надмірно зволжених) зонах, які потребують проведення різнопланових гідротехнічних заходів, відповідно – зрошення та осушення. Ефективність меліоративних заходів базується на створенні умов для екологічно безпечного використання сільськогосподарських угідь та забезпечення оптимального водно-повітряного режиму ґрунту.

Україна є однією з країн, де меліоровані землі відігравали і продовжують відігравати важливу роль у забезпеченні населення продовольством. Це пов'язано з тим, що значна частина її території розташована на межі різних природних зон у помірному кліматичному поясі з яскраво вираженими сезонними коливаннями упродовж року, в зонах недостатнього та нестійкого зволоження, а стале сільське господарство на цих територіях можливе лише в умовах зрошення. Зрошувані землі є своєрідним страховим полісом для стабільного сільськогосподарського виробництва, особливо в посушливі роки. Південний степ займає південну і південно-східну частини країни, характеризується континентальним жарким і сухим кліматом і є самостійною територіальною одиницею, на яку припадає 46,5% площі сільськогосподарських угідь (рис. 1.) [2].



**Рис. 1. Площі зрошуваних земель у провідних країнах світу (у % від загальної площі) [18]**

Проте зрошення потребує не лише південь України, ай інші регіони, зокрема окремі території лісостепової зони, де функціонують зрошувальні системи, наприклад Яришівська (Вінницька область), Трубізька осушувально-зволожувальна система (Чернігівська та Київська області) та інші.

Меліоративні заходи також є актуальними для українського Полісся. Поліська низовина має незначний нахил до Прип'яті та Дніпра, сильно заболочена, заліснена; має багато прісних озер, боліт, торфовищ. Меліоративний фонд земель становить 3,7 млн. га, з них торф'яно-болотні ґрунти займають майже 0,95 млн. га, мінеральні перезволожені – 2,75 млн. га. Це становить 68,5% боліт, заболочених площ і перезволжених мінеральних земель України, тому Поліська зона є основним районом проведення осушувальних меліорацій. Проведення робіт з меліорації земель стало вагомим чинником соціально-економічних перетворень цього краю і відіграє важливу роль у розвитку галузей економіки. Меліоровані перезволожені землі в гумідній зоні України є важливим, а в багатьох регіонах єдиним гарантом стабільного ведення землеробства і створення надійної кормової бази для забезпечення потреб тваринництва, незалежно від погодно-кліматичних умов [10].

Розвиток зрошувальних та осушувальних систем у відносно збалансованій структурі парадинамічних та парагенетичних зв'язків у річкових басейнах не тільки активізував існуючі зв'язки, але й призвів до формування нових, які поступово набувають все більшого поширення. Основними чинниками активізації парадинамічних зв'язків є просторові залежності, контрасти, а також зовнішні та внутрішні зв'язки [10].

Це призвело до розвитку й активного функціонування нових антропогенних мікро- і мезоосередкових процесів, прояв яких часто є негативним, що пов'язано з неналежним наглядом за системою, непродуманою побудовою відкритої зрошувальної та осушувальної мережі, недотриманні державних стандартів під час обробітку ґрунту навколо меліоративних каналів.

Внаслідок прояву антропогенних мікро- і мезоосередкових процесів річкові та заплавні ландшафтні комплекси зазнають швидких змін. Оптимізація цих процесів є першочерговим завданням як на функціонуючих, так і на занедбаних ділянках меліоративних систем. Науково доведено, що системи осушення та зволоження є найбільш ефективними і здатні регулювати надлишок вологи або її нестачу. Однак у цих системах є багато аспектів і недосконалостей, які не враховуються під час їх проектування та будівництва і які необхідно проаналізувати, щоб розробити заходи для їх раціонального використання [10].

Таким чином, відновлення та реорганізація меліоративної галузі стало національним проектом до 2024 р., а Міністерством аграрної політики та продовольства був започаткований пілотний проект із відновлення зрошувальних систем в південних областях України.

Уряд України почав уніфікувати нормативну базу для екологічно безпечного зрошення, поливу та водовідведення. Проте, широкомасштабне вторгнення Росії в північні й південні області України, руйнування дамби Каховського водосховища, остаточна дезорганізація зрошувального господарства порушило плани реорганізації меліоративної галузі. Хоча є розуміння, що зрошувальне господарство, меліоративна галузь загалом потребує і потребуватиме відновлення після завершення військових дій.

Картографічне забезпечення оцінки земельних ресурсів базується на просторовому аналізі окремих природних об'єктів та активному застосуванні картографічних методів як основного засобу отримання первинних і вторинних результатів оцінки. При цьому ключовим моментом є створення картографічного матеріалу, який може бути визнаний достовірною документацією [3, с. 52].

Перш за все, це стосується основних принципів картографування, які визначають місце і роль картографічних методів у процесі моделювання стану земельних ресурсів території та отримання оціночних показників. Ці принципи є своєрідними методологічними постулатами, які окреслюють зміст, сферу застосування, достовірність та обґрунтованість картографування.

Основними з них є принципи науковості, сучасності, нетрадиційності та оцінки. Зміст принципу наукової обґрунтованості полягає у використанні наявного досвіду картографування земельних ресурсів, відомих та апробованих методів і прийомів. Для цього слід залучати кваліфікований персонал і створювати відповідне інформаційне забезпечення як для методів, методик, алгоритмів, програм і результатів, що вже використовуються, так і для документації, що гарантує виконання поточних робіт.

При цьому показники, що використовуються для оцінки земельних ресурсів (інтегральні показники стану, господарського використання, екологічної стійкості тощо), є набагато більш інтегрованими та релевантними, ніж відомі традиційні показники (рілля, лісові площі, заповідні території тощо). Інтегральні індикатори відображають комплексні характеристики картографованих територій.

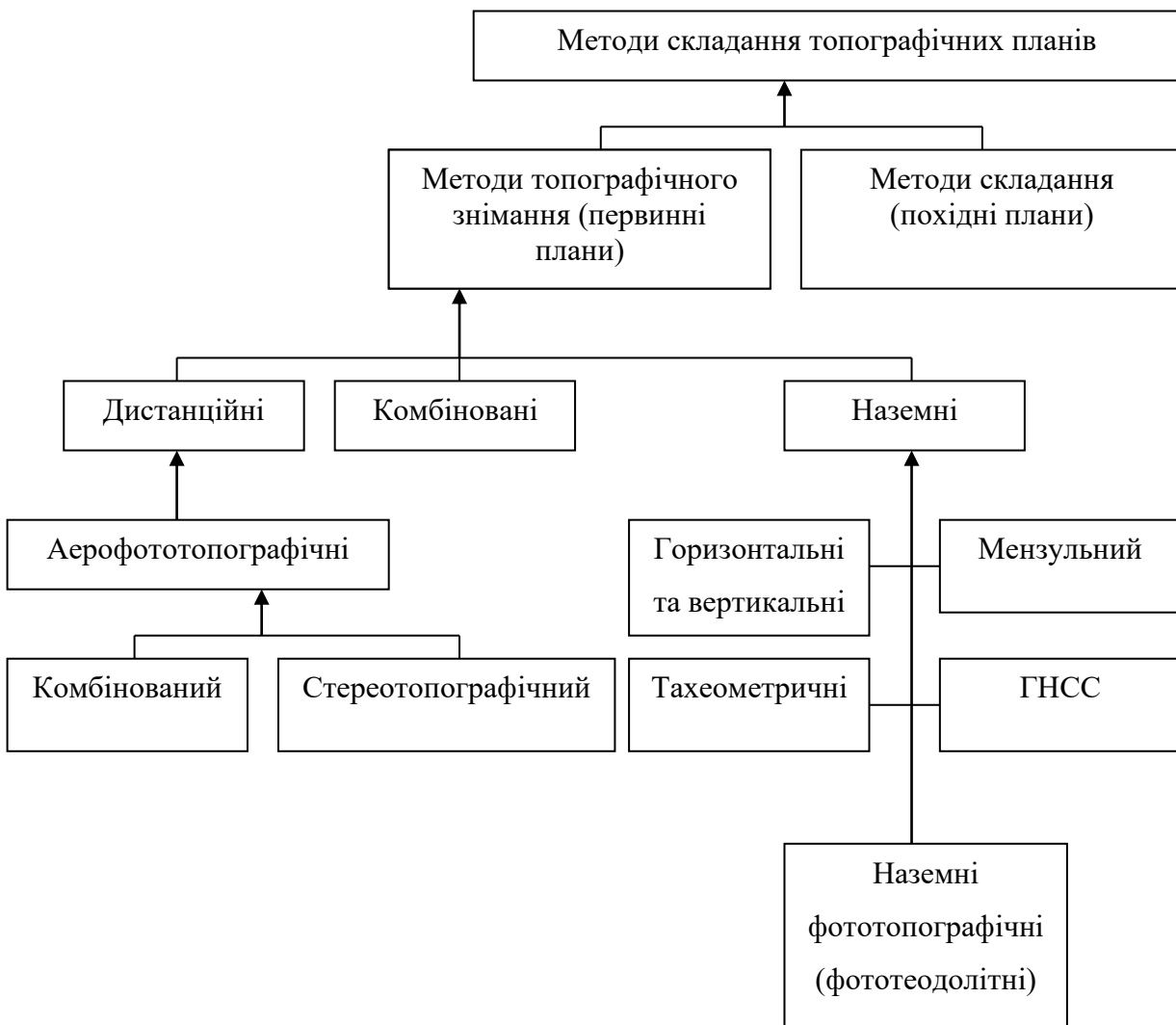
У процесі реалізації принципів наведеної вище методології картографічного забезпечення оцінки земельних ресурсів чільне місце займає інформація. Сам процес картографування стану земельних ресурсів потребує великої кількості інформації (причому

різноманітної, отриманої шляхом перетворення або обробки первинних даних). Тому якість інформації, як з точки зору її змісту, так і релевантності, має вирішальне значення для оцінки надійності та актуальності відповідних карт, що, в свою чергу, визначає їхню достовірність [3, с. 53].

В умовах адміністративно-територіальної та земельної реформи правильне визначення вартості топографо-геодезичних і земельно-кадастрових робіт має першочергове значення, що впливає на формування договірних цін для об'єктів державної та інших форм власності, складаючи основу для формування тендерної документації та підвищуючи довіру між замовниками та виконавцями [5, с. 54].

В сучасних умовах тенденції розвитку топографо-геодезичної та картографічної діяльності обумовлюються розвитком інформаційних технологій, зокрема, йдеться про створення вискоєфективних засобів отримання просторової інформації про Землю в режимі реального часу на основі глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС), аерокосмічних систем отримання інформації про Землю з високою роздільною здатністю, систем фотоелектронного сканування місцевості, супутникової радіолокації, наземного та повітряного лазерного позиціонування, цифрової аерофотозйомки та інших технологій.

Такий вплив інформаційних технологій на розвиток топографо-геодезичної та картографічної діяльності визначив необхідність переходу від картографічної інфраструктури до розвитку інфраструктури геопросторових даних [7, с.10; 8, с.55; 9, с.34].



**Рис.2. Методи складання топографічних планів**

На сучасному етапі фахівці використовують пакети обробки даних для інженерно-геодезичних вишукувань та інженерного проектування, призначені для автоматизації обробки інструментальних геодезичних даних та інженерного проектування. Серед програмних пакетів можна виокремити: продукти фірми Autodesk (програмні пакети Autodesk Survey, Autodesk Land Desktop, Autodesk Civil Design, створені на платформі пакету AutoCAD), програмні комплекси GEO. Донедавна більшість геоінформаційних систем можна було впевнено назвати «консервативними». Однак зараз ситуація змінюється. Останніми роками з'явилася нова тенденція у філософії використання ГІС, яка перетворюється на справжній продукт, що може бути використаний для прийняття дешевших та ефективніших рішень. Сучасна ГІС – це багатофункціональна, цілеспрямована і багатогранна система, яка займає важливе місце в сучасній технології геодезичних робіт [20, с. 47].

Об'єктивна та своєчасна інформація про розподіл і використання земельних ресурсів, стан сільськогосподарських угідь та динаміку кліматичних і мікрокліматичних чинників є необхідною умовою для організації ефективного сільськогосподарського виробництва.

Упродовж останніх років відбувся значний технологічний прогрес у галузі цифрових технологій, який значно покращив якість та роздільну здатність цифрових камер. Сучасні методи збору даних під час геодезичних зйомок меліорованих земель базуються на використанні цифрових матеріалів аерофотозйомки. Однак, використання літаків і вертольотів для великомасштабних зйомок збільшує витрати на порядки. Тому альтернативним рішенням є використання – безпілотних суден (БПС), або, звичне, безпілотних літаючих апаратів (далі БПЛА).

БПЛА або дрони, вже використовуються в багатьох сферах людської діяльності. Їх кількість зростає із небувалою швидкістю, а також розширюється коло завдань, які можна вирішувати з їх допомогою. Вимірювання та аерофотозйомка місцевості за допомогою безпілотних літальних апаратів є економічно ефективним вирішенням багатьох проблем в галузі геодезії та топографії. БПЛА, що використовуються в геодезії, літають заданими маршрутами як в автоматичному, так і в напівавтоматичному режимах для отримання точних і достовірних фото- і відеоматеріалів про топографічні особливості в районах, де плануються меліоративні роботи, виконують лазерне сканування місцевості, геологічні зйомки і моніторинг будівель і споруд. Дані, отримані з дронів та оброблені спеціалізованим програмним забезпеченням, є основою для будівельного проектування, цифрового, електронного, аналогового картографування, картографування місцевості та моніторингу інженерних споруд великої протяжності. Якщо розглядати можливість застосування БПЛА для потреб великомасштабної зйомки меліоративних систем, то тут виявляються широкі перспективи розвитку таких технологій.

Надійність, збереження та подальший розвиток меліоративних систем у сучасному світі були б неможливими без дистанційного моніторингу, особливо за допомогою БПЛА. БПЛА добре зарекомендували себе на світовому ринку геоінформаційних послуг і будуть затребувані повсюдно в найближчі десятиліття.

Розрізняють такі безпілотні літальні апарати: безпілотні некеровані, безпілотні автоматичні, безпілотні дистанційно пілотовані літальні апарати (ДПЛА).

В Україні не було остаточно прийнятої класифікації БПЛА. З початком широкомасштабного вторгнення російських військ на територію нашої країни у бойових діях використовують велику кількість дронів різних моделей, розмірів, призначення, функціональності, дальності польотів.

Для систематизації наявних систем БПЛА пропонується класифікація за такими взаємопов'язаними параметрами, як маса, час, дальність і висота польоту. Виділяють такі класи апаратів: мікро- і міні-БПЛА близького радіуса дії (злітна маса – до 5 кг, час польоту – близько години і дальність польотів – 25...40 км); легкі БПЛА малого радіуса дії (злітна маса – 50...100 кг, час польоту – кілька годин, дальність дії – 10...70 км); легкі БПЛА

середнього радіуса дії (злітна маса – 50...100 кг, час польоту – кілька годин, дальність – 70...150 км); середні БПЛА (злітна маса – 100...300 кг, час – 10-12 год., дальність дії – 150...1000 км); середньо важкі БПЛА (злітна маса – 300...500 кг, час – 10-12 год., дальність дії – 70...300 км); важкі БПЛА середнього радіуса дії (злітна маса – понад 500 кг, час польоту – 24 год. і більше, дальність дії – 70...300 км); важкі БПЛА великої тривалості польоту (злітна маса – понад 1500 кг, дальність – 1500 км); безпілотні бойові літаки (ББЛ) (злітна маса – понад 500 кг, дальність – 1500 км) [11].

Сучасні БПЛА, залежно від маси і розмірів зазвичай багатфункціональні, використовують приймачі супутникової навігації (GPS або ГЛОНАСС) для визначення координат і швидкості руху. Азимут і перевантаження визначаються за допомогою гіроскопів та акселерометрів. Програмне забезпечення пишеться зазвичай мовами високого рівня (C++, Модула-2, Оберон SA або Ада 95).

Методи моніторингу місцевості на основі картографічної основи території зазвичай здійснюються шляхом візуального спостереження та подальшого нанесення ситуації на карту. Недоліками цього методу є його висока собівартість та залежність від людського чинника, що може призвести до значних помилок. Звичайна аерофотозйомка з малих висот є складним процесом. Традиційно вона здійснюється за допомогою таких носіїв фотоапаратури, як літаки (АН-2), літаки-лабораторії АН-26) та гелікоптери (МІ-6) [12].

Значні експлуатаційні витрати, прив'язаність до аеродрому та обмежена висота польоту (>200 м) обмежують використання таких літальних апаратів для більшості завдань з моніторингу місцевості, підвищують вартість аерофотозйомки та знижують рентабельність. Використання БПЛА виправдане там, де необхідно швидко із низькими витратами зібрати точні дані з повітря.

За даними UVS International (провідної міжнародної асоціації безпілотних систем), БПЛА виготовляють в понад 50 країнах світу, серед яких провідними є Росія і США [3, с. 51]. З початком широкомасштабного вторгнення російських військ на територію нашої країни, Україна також різко почала нарощувати виробництво БПЛА, залучаючи понад 200 компаній різних форм власності та підпорядкування, що сприяло розвитку нової для держави прогресивної високотехнологічної галузі, здобутки якої сприятимуть відбудові національного господарства у повоєнний час.

Кожен сучасний БПЛА оснащений фотоапаратом, відеокамерою, тепловізором і гіростабілізованою телевізійною камерою для дослідження і фіксування екзогенних процесів (наприклад, селевих потоків, зсувів і обвалів). На основі аерофотознімків отримують цифрові моделі поверхні (ЦМР) у вигляді щільної хмари тривимірних точок. Точність таких моделей залежить від низки чинників, включаючи якість вихідного зображення, наявність і точність координат центру зйомки, обґрунтування координат і висоти точок планування, а також значною мірою залежить від технічних характеристик безпілотного літального апарату і його бортового обладнання.

На відміну від наземних геодезичних методів, таких як тахеометрична зйомка та вимірювання за допомогою GPS-приймача, БПЛА можуть обстежити необхідну територію швидко та економічно ефективно. Окрім економічності (до 10 разів дешевше), БПЛА мають й інші переваги над традиційною повітряною та космічною зйомкою: можливість виконувати знімання на невеликих висотах (10 до 200 м), що забезпечує надвисоке розрізнення (одиниці й десятки сантиметра) на місцевості; можливість вибіркового детального знімання невеликих об'єктів і малих ділянок там, де не рентабельно або технічно неможливо здійснити іншими способами, наприклад, в умовах міської забудови; мобільність – не потрібна прив'язка до спеціально обладнаних майданчиків, БПЛА легко транспортуються, порівняно нескладна процедура дозволів і узгодження польотів; висока оперативність – транспортування, підготовка до зйомки, виконання завдання, отримання результатів займають декілька годин; екологічна чистота польотів – практично нульове навантаження на навколишнє середовище, що пояснюється використанням малопотужних двигунів.



Використання БПЛА є проміжним етапом на шляху створення і забезпечення вихідною інформацією картографічних та ГІС-матеріалів, та дозволяє отримати відповідні просторові дані: топографічні карти і плани масштабу від 1:500 до 1:5000; цифрові моделі рельєфу із висотною точністю до 0,5 м; ортофотоплани високої роздільної здатності; шари для геоінформаційних систем і відповідним тематичним навантаженням різного формату; віртуальні (тривимірні) моделі місцевості, створені на основі сукупності перелічених вище даних.

Зокрема, новітні БПЛА характеризуються високою надійністю та автоматичною стабільністю польоту і оснащені всіма системами, необхідними для отримання високоякісних зображень, такими як аерофотозйомка з високою роздільною здатністю до семи годин, точна геодезія місцевості та можливість дистанційно змінювати параметри зйомки відповідно до погодних умов [4, с. 6].

Розглянемо БПЛА, оснащений двочастотним приймачем, камерою Sony Alpha ILCE-6000 з матрицею 24 Мпікс, об'єктивом з  $f=20$  мм і з параметрами зйомки ISO800, витримка – 1/1000. У разі аерофотознімання з різної висоти (150, 200 і 250 м) за двома маршрутами в різних напрямках поздовжнє перекриття становить 80%, поперечне – 60%; під час побудови фотограмметричних мереж середні величини розбіжностей планового положення опорних точок не перевищують 5–10 см, контрольних точок – 5–15 см, що відповідає точності зйомки масштабу 1:500; а середні величини розбіжностей висотного положення опорних точок у фотограмметричних мережах, отриманих з використанням центрів проєкції і розпізнавальних знаків, розставлених через 250, 500, 1000 і 2300 м, не перевищують 5–7,5 см, контрольних – 5–10 см, що відповідає точності зйомки з перерізом рельєфу 0,5 м.

Прикладів використання дронів сьогодні багато, але варто зупинитися на найцікавіших і, на нашу думку, найкорисніших з них, зокрема картографування (drone mapping) – невеликі, легкі дрони широко використовуються сьогодні і завдяки спеціальному програмному забезпеченню можуть досліджувати натуральні та антропогенні ландшафти і, крім фотографій, створювати тисячі цифрових точок інтересу, які можна об'єднати в цифрові зображення, а згодом і в 3D-моделі.

Водночас створюються різні супровідні програмні інструменти для «склеювання» зображень і прив'язки отриманого зображення до певної системи координат. Одним з прикладів такого ПЗ є Maps Made Easy [27].

За практичну основу роботи було взято завдання побудови топографічної карти для земельної ділянки з кадастровим номером: 3222483200:03:001:0017 та площею 1,3076 га, яка знаходиться в с. Забір'я Київської області (рис. 3.).

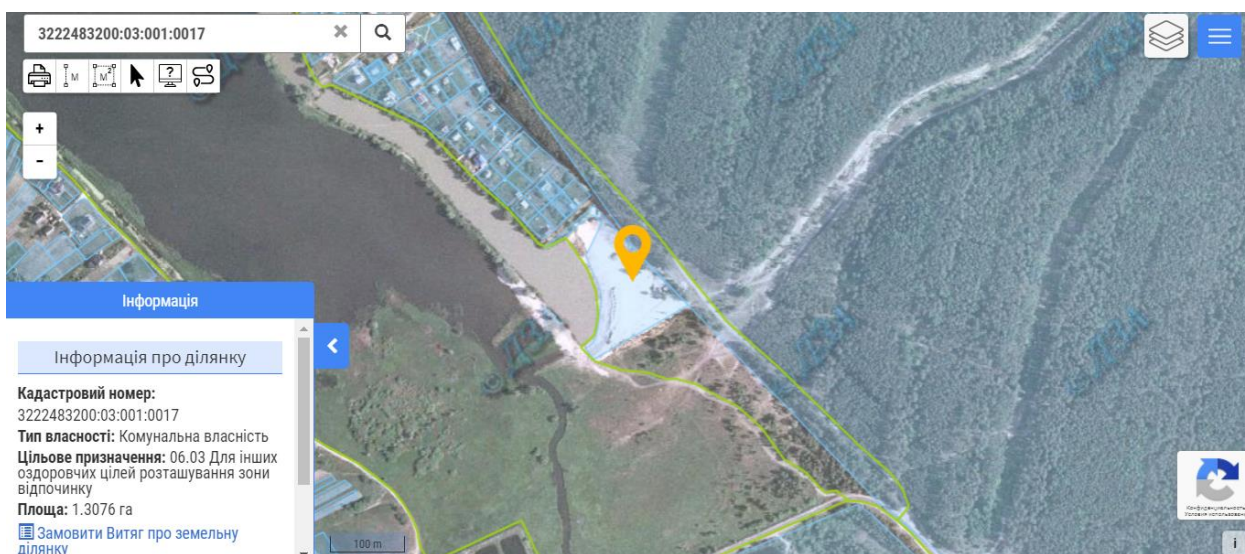


Рис. 3. Відображення земельної ділянки на кадастровій карті

Розвідка місцевості показала, що це забудована територія, з доступом до водойми і зниженням рельєфу до води. Також незначна залісеність місцевості сприяла проведенню зйомки з БПЛА. У сучасних умовах маршрути аерофотозйомки БПЛА можна прокладати за допомогою спеціальних додатків для смартфонів. Зокрема для виконання цієї роботи використовувалось ПЗ Pix4D Capture (рис.4.).



Рис. 4. Вікно планування аерофотозйомки в Pix4DCapture

Щільна хмара точок – це великий набір точок, закріплених в одній системі координат. Хмара є точною цифровою копією всіх видимих поверхонь об'єкта. Це означає, що кожна точка в хмарі має власні координати (рис. 5.).

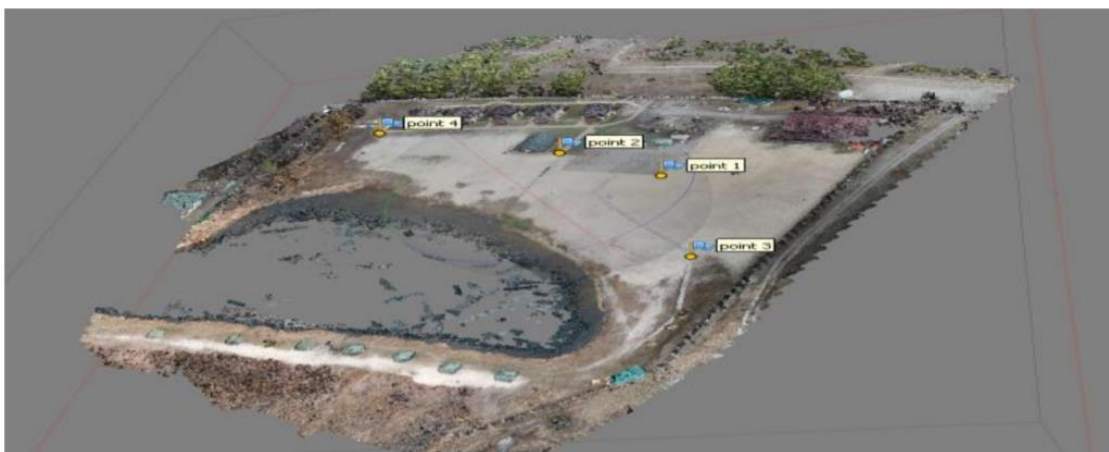
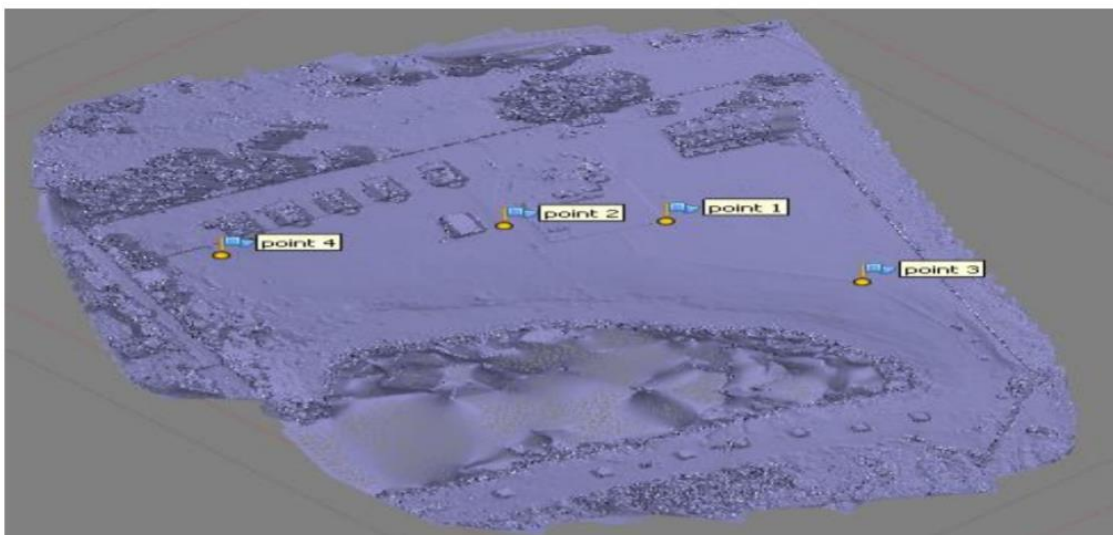


Рис. 5. Вигляд густої хмари точок в agisoft

Створення хмари точок високої щільності є основним етапом, який вимагає найбільше ресурсів. Після створення хмари точок автоматично виконується процес генерації TIN-сітки, з якої в подальшому отримується цифрова модель поверхні. У PhotoScan цей процес повністю автоматизований за рахунок попереднього налаштування відповідних параметрів: тип поверхні – довільний; вихідні дані для визначення TIN – густа хмара точок; максимальна кількість полігонів, які братимуть участь у формуванні мережі – висока. Одним із основних завдань фотограмметричного програмного забезпечення є створення цифрових моделей місцевості. Відповідно процес базується на алгоритмах порівняння та автокореляції. Автоматично створена цифрова модель рельєфу представлена на рисунку 6. На рисунку 7 показано фінальний вигляд ортофотоплану [23].

Загалом, проект містить 9 млн. 108 тис. 537 точок, визначених з аерознімків, виконаних з допомогою БПЛА, кожна з яких має визначенні просторові координати. У загальному вигляді подальший процес можна описати таким порядком дії: створення ортофотоплану, на основі створеної щільної хмари точок; прив'язка ортофотоплану; векторизація ситуації та розміщення топографічних знаків; аналіз точності та відповідності реальній ситуації [23].



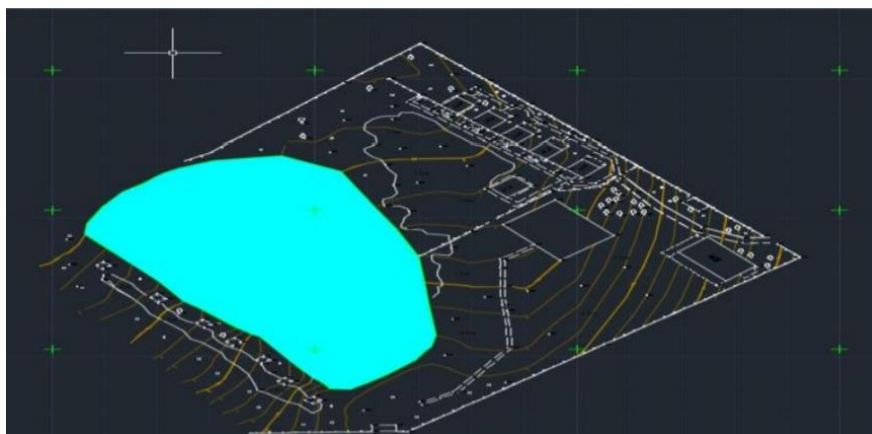


**Рис. 6. Згенерована цифрова модель рельєфу**



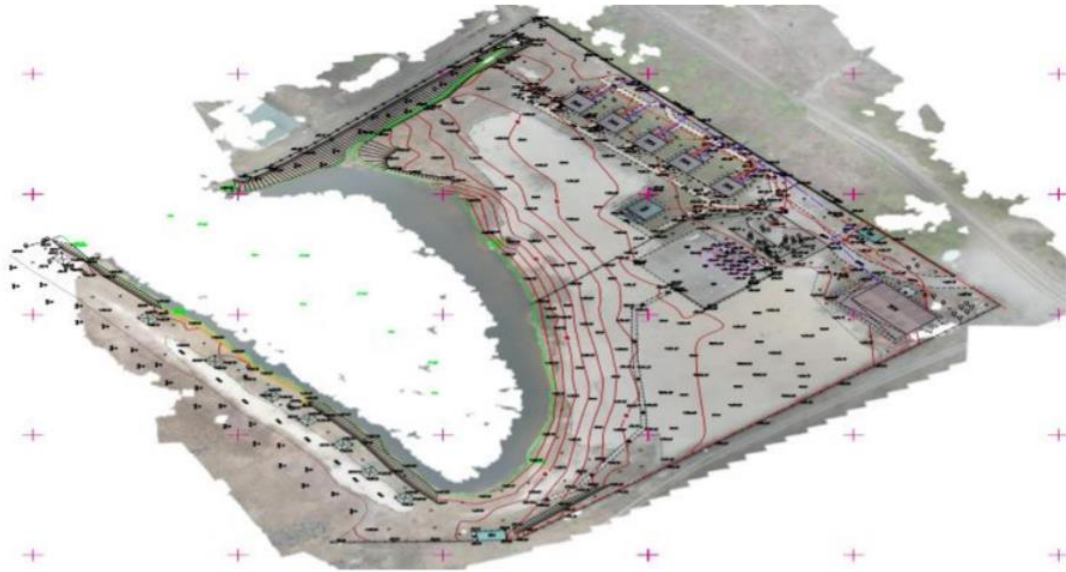
**Рис. 7. Ортофотоплан**

Для пришвидшення процесу камеральної обробки даних, та створення топографічного плану, використовувалось ПЗ «Geonics», що забезпечує підтримку топографічних знаків, для М 1:500–1:10000, аналіз поверхонь, створення горизонталей тощо (рис. 8).



**Рис. 8. Топографічний план створений в ПЗ «Geonics»**

Для аналізу результатів роботи зі створення топографічного плану з використанням БПЛА, було виконано порівняння цього плану з планом який побудовано на основі GNSS зйомки (рис. 9).



**Рис. 9. Топографічний план побудований на основі GNSS – знімання**

Іншими словами, з першого погляду очевидно, що круті схили не можуть бути показані на аерофотознімках, і є помітна різниця в способах зображення горизонталей. Однак, представлення об'єкта в плані однакове в обох методах. Іншими словами, план об'єкта, побудований на основі аерофотознімків, не має значних геометричних похибок.

Аерофотозйомка, безумовно, є одним з найпродуктивніших методів збору просторової інформації і є основою для виготовлення топографічних планів і карт, а також для побудови тривимірних моделей рельєфу і топографічних планів. За допомогою аерофотозйомки великі ділянки земної поверхні можна отримати у вигляді нерухомих зображень у вигляді аерофотознімків. Тому вона необхідна для географічних і гідрографічних досліджень, земельної та лісової зйомки, будівництва, сільського господарства та управління земельними ресурсами.

Таким чином, топографічна великомасштабна зйомка проводиться для інженерно-геодезичних вишукувань під час будівництва і повинна забезпечувати отримання топографо-геодезичних матеріалів і даних про ситуацію і рельєф місцевості (зокрема дна водотоків водойм і акваторій) існуючих будівлях і спорудах (наземних підземних і надземних) та інших елементах планування необхідних для комплексної оцінки природних і техногенних умов території (акваторії) будівництва і обґрунтування проектування будівництва експлуатації та ліквідації об'єктів а також створення і ведення державних кадастрів забезпечення управління територією проведення операцій з нерухомістю.

Аерознімання активно застосовуються на об'єктах малої і середньої площі (кар'єри, об'єкти транспортної інфраструктури, важкодоступна місцевість), там, де необхідна швидка оперативна зйомка високої точності для отримання ортофото і створення цифрових моделей місцевості (ЦММ). На сьогодні в результаті реалізації проекту Світового банку (Проект «Видача державних актів на право власності на землю у сільській місцевості та розвиток системи кадастру» № 4709 UA від 17 жовтня 2003 року) здійснено аерофотознімання понад 70% території України, створено ортофотокарти на територію понад 50% та індексні кадастрові карти – на територію 10%. Ці цифри свідчать про недостатній обсяг картографічних матеріалів (особливо великомасштабних карт) для

створення і наповнення якісною і актуалізованою інформацією національну кадастрову і реєстраційну систему, мати оперативну інформацію щодо стану земельних ресурсів, зокрема меліорованих земель. Отже, є нагальна потреба у використанні БПЛА для великомасштабного аерознімання та картографування територій [24].

Очевидно, що діючі нормативно-технічні документи в галузі топографічного картографування не враховують сучасні методи топографічного знімання, не повністю відповідають сучасному рівню розвитку геоінформаційних технологій та не задовольняють вимоги суспільства в якості, оперативності та достовірності геопросторових даних. По суті справи, діючі нормативно-технічні документи по топографічному картографуванню місцевості не тільки гальмують процес впровадження новітніх технологій, а навіть є перешкодою, бар'єром на шляху їх використання.

В свою чергу нині постає питання будування нових, відбудова та оптимізація колишніх меліоративних систем.

Для того аби точно відтворити геодезичну ситуацію на карті, необхідно здійснити зйомку території меліорації. Великомасштабна зйомка території є найдоцільнішою під час геодезичної зйомки меліоративних систем. Рівень розвитку і застосування сучасних технологій збирання геопросторових даних значно випереджає нормативну базу щодо них в Україні. Зважаючи на сучасне різноманіття зазначених вище методів збирання геопросторових даних, постає питання дослідження технологічних схем, точності, достовірності та оперативності знімань для перегляду нормативно-технічної документації забезпечення топографічного картографування, продукція якого б відповідала сучасним досягненням розвитку геоінформаційних технологій, вимогам і потребам інформаційного суспільства.

Обґрунтовано головні переваги та недоліки використання БПЛА для виконання топографо-геодезичних робіт, зокрема, переваги: більш швидке виконання робіт, можливість виконання великомасштабних знімань, безпечність, легкість у використанні, низька вартість; до недоліків віднесемо: неможливість проведення точного нівелювання при аерофотозйомці, значна залежність від погодних умов, відсутність можливості аналізу точності виконаних робіт одразу після їх виконання.

Технологія застосування БПЛА порівняно з існуючою дасть можливість вагомо здешевити процес створення кадастрових планів. Впровадження новітніх технологій для створення кадастрових карт і планів надасть можливість оперативно і об'єктивно наповнювати базу даних земельних інформаційних систем, що дозволить (у межах заданого масштабу) виводити геопросторову інформацію від рівня окремих об'єктів та земельних ділянок на рівень базових адміністративно-територіальних утворень, адміністративних районів та, за необхідності.

### Список використаних джерел

1. Балюк С. А., Ромащенко М. І. Наукові аспекти сталого розвитку зрошення земель в Україні. Київ: ДІА, 2006. 32 с.
2. Балюк С. А., Ромащенко М. І. Проблеми зрошення в Україні в контексті зарубіжного досвіду. *Вісник ХДАУ*. 2000. № 1. С. 27–35.
3. Бондаренко Е. Л. Картографічне забезпечення оцінки стану земельних ресурсів. сучасних геодезичних технологій при розробці проектів із землеустрою. *Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення*: матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 10-11 черв. 2021 р.) Херсон: ХДАЕУ, 2021. С. 50–53.
4. БПЛА Supercam S250: веб-сайт. URL: [https://supercam.aero/assets/cache\\_image/assets/resourceimages/52/S255\\_video\\_gray\\_4\\_1500x1000\\_05f.png](https://supercam.aero/assets/cache_image/assets/resourceimages/52/S255_video_gray_4_1500x1000_05f.png) (дата звернення: 15.05.2023).
5. Ільків Є. Ю., Галярник М. В., Єршов М. О. Проблемні організаційні питання щодо складання кошторисів на топографо-геодезичні та земельно-кадастрові роботи сучасних геодезичних технологій при розробці проектів із землеустрою. *Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення*: матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 10-11 черв. 2021 р.) Херсон: ХДАЕУ, 2021. С. 53–56.
6. Інженерні вишукування. URL: <https://core.ac.uk/download/52161114.pdf> (дата звернення: 12.03.2024).

7. Карпінський Ю. О., Лященко А. А. Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні. Київ: НДІГК, 2006. 108 с.
8. Карпінський Ю. О., Лященко А. А. Топографічне картографування в національній інфраструктурі геопросторових даних. *Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку*. 2008. Вип. 3. С.52–60.
9. Карпінський Ю. О., Лященко А. А., Рунець Р. В. Уніфікація структури, правил кодування та цифрового опису векторних моделей у базах топографічних даних. URL: <https://softpro.ua/unifikacija-strukturi--pravil-koduvannja-ta-cifrovogo-opisu-vektornih-modele-u-bazah-topografichnih-danih> (дата звернення: 18.05.2023).
10. Мізіна С. К. Трубізька водогосподарська ландшафтно-технічна система: дис. на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Вінниця. 171 с.
11. Мосов С. П., Хижняк В. В., Литовченко А. О., Ядченко Д. М. Класифікація, функції та завдання безпілотної авіації у сфері цивільного захисту України. *Цивільний захист та пожежна безпека*. 2021. № 2(12). С. 54–66.
12. Побудова системи моніторингу місцевості на базі безпілотних літальних апаратів: зб. наук. праць. 2016. Вип. 50. С. 50.
13. Порядок проведення топографо-геодезичних робіт. URL: <https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php> (дата звернення: 29.03.2024).
14. Про внесення змін до законів України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» та «Про землеустрій». URL: <https://ips.ligazakon.net/document/T130367> (дата звернення: 21.02.2024).
15. Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референційної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/RE29776> (дата звернення: 25.02.2024).
16. Про затвердження Порядку створення та функціонування бази топографічних даних. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/view/MN027604> (дата звернення: 21.02.2024).
17. Романченко І. С., Данилюк С. Л., Чумаченко С. М. та ін. Моделі застосування інформаційно-телекомунікаційних технологій на основі безпілотних авіаційних комплексів у надзвичайних ситуаціях: монографія. Київ: НАУ, 2016. 232 с.
18. Ромащенко М. І. Наукові засади розвитку зрошення земель в Україні. Київ: Аграрна наука, 2012. 28 с.
19. Ромащенко М. І., Балюк С. А. Зрошення земель в Україні. Стан та шляхи поліпшення. Київ: Світ, 2000. 114 с.
20. Розум Р. І., Буряк М. В., Вітровий А. О. та ін. Геодезія та землеустрій: монографія / за заг. ред. Р. І. Розума. Тернопіль: ТНЕУ, 2020. 247 с.
21. Сидоренко В. Зрошення в Україні. Агробізнес сьогодні. URL: <http://www.agro-business.com.ua> (дата звернення: 13.05.2023).
22. Сосса Р. І. Топографічне картографування України (1917–1920): монографія. Київ: Наукова Думка, 2014. 384 с.
23. Створення ортофотоплану. URL: <https://magneticonemt.com/stvorennia-ortofotoplanu> (дата звернення: 10.05.2023).
24. Топографо-геодезичні та картографічні роботи. URL: <https://zempro.xyz/zyomka> (дата звернення: 17.05.2023).
25. Управління земельними ресурсами: підручник / упоряд.: В. В. Горлачук, В. Г. В'юн, І. М. Песчанська та ін./за ред. В. В. Горлачука. 2-ге вид., випр. і переробл. Львів: Магнолія, 2006, 2007. 443 с.
26. Цифрова модель рельєфу (ЦМР). URL: <https://def-c.com/ua/services/tsifrova-model-relefu> (дата звернення: 12.03.2024).
27. Drone Mapping. URL: [https://www.mapsmadeeasy.com/drone\\_mapping](https://www.mapsmadeeasy.com/drone_mapping) (дата звернення: 15.03.2024).

## References

1. Baliuk, S. A., Romaschenko M. I. (2006). *Naukovi aspekty staloho rozvytku zroshennia zemel v Ukraini*. Kyiv: DIA [in Ukrainian].
2. Baliuk, S. A., Romaschenko M. I. (2000). *Problemy zroshennia v Ukraini v konteksti zarubizhnoho dosvidu*. *Visnyk KhDAU, 1*, 27–35 [in Ukrainian].
3. Bondarenko, E. L. (2021). *Kartografichne zabezpechennia otsinky stanu zemel'nykh resursiv. suchasnykh heodezychnykh tekhnolohii pry rozrobtsi proektiv iz zemleustroi*. *Vplyv klimatychnykh zmin na prostorovy rozvytok terytorii Zemli: naslidky ta shliakhy vyrishennia*: proceedings of the international scientific-practical conference. Kherson: KhDAEU, 50–53 [in Ukrainian].
4. BPLA Supercam S250. URL: [https://supercam.aero/assets/cache\\_image/assets/resourceimages/52/S255\\_video\\_gray\\_4\\_1500x1000\\_05f.png](https://supercam.aero/assets/cache_image/assets/resourceimages/52/S255_video_gray_4_1500x1000_05f.png) [in Ukrainian].
5. Ilkiv Ye. Yu., Haliarnyk M. V., Yershov M. O. (2021). *Problemni orhanizatsiini pytannia schodo skladannia koshtorysiv na topografo-heodezychni ta zemelno-kadastrovi roboty. suchasnykh heodezychnykh tekhnolohii pry rozrobtsi proektiv iz zemleustroi*. *Vplyv klimatychnykh zmin na prostorovy rozvytok terytorii Zemli: naslidky ta shliakhy vyrishennia*: proceedings of the international scientific-practical conference. Kherson: KhDAEU, 53–56 [in Ukrainian].
6. Inzhenerni vyshukuvannia. URL: <https://core.ac.uk/download/52161114.pdf> [in Ukrainian].
7. Karpinskyi, Yu. O., Liaschenko, A. A. (2006). *Stratehiia formuvannia natsionalnoi infrastruktury heoprostorovykh danykh v Ukraini*. Kyiv: NDIHK [in Ukrainian].

8. Karpynskiy, Yu. O., Liaschenko, A. A. (2008). Topohrafichne kartohrafuvannia v natsionalnii infrastrukturi heoprostorovykh danykh. *Natsionalne kartohrafuvannia: stan, problemy ta perspektyvy rozvytku*, 3, 52–60 [in Ukrainian].
9. Karpynskiy, Yu. O., Liaschenko, A. A., Runets, R. V. Unifikatsiia struktury, pravyl koduvannia ta tsyfrovoho opysu vektornykh modelei u bazakh topohrafichnykh danykh. URL: <https://softpro.ua/unifikacija-strukturi-pravil-koduvannja-ta-cifrovogo-opisu-vektornih-modele-u-bazah-topografichnih-danih> [in Ukrainian].
10. Mizina, S. K. Trubizka vodohospodarska landshaftno-tekhnicna systema: dys. na zdobuttia naukovooho stupenia doktora filosofii. Vinnytsia. [in Ukrainian].
11. Mosov, S. P., Khyzhniak, V. V., Lytovchenko, A. O. (2021). Klasyfikatsiia, funktsii ta zavdannia bezpilotnoi aviatsii u sferi tsyvilnoho zakhystu Ukrainy. *Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 2(12), 54–66 [in Ukrainian].
12. Pobudova systemy monitorynhu mistsevosti na bazi bezpilotnykh litalnykh aparativ, 50 [in Ukrainian].
13. Poriadok provedennia topografo-heodezychnykh robot. URL: <https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php> [in Ukrainian].
14. Pro vnesennia zmin do zakoniv Ukrainy “Pro topografo-heodezychnu i kartohrafichnu diialnist” ta “Pro zemleustrii”. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/T130367> [in Ukrainian].
15. Pro zatverdzhennia Poriadku vykorystannia Derzhavnoi heodezychnoi referentsnoi systemy koordynat USK-2000 pry zdiisnenni robot iz zemleustroiu. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/RE29776> [in Ukrainian].
16. Pro zatverdzhennia Poriadku stvorennia ta funkcionuvannia bazy topohrafichnykh danykh: URL: <https://ips.ligazakon.net/document/view/MN027604> [in Ukrainian].
17. Romanchenko, I. S., Danyliuk, S. L., Chumachenko, S. M. (2016). Modeli zastosuvannia informatsiino-telekomunikatsiinykh tekhnolohii na osnovi bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv u nadzvychainykh sytuatsiiah. Kyiv: NAU [in Ukrainian].
18. Romaschenko, M. I. (2012). Naukovi zasady rozvytku zroshennia zemel v Ukraini. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
19. Romaschenko, M. I., Baliuk, S. A. (2000). Zroshennia zemel v Ukraini. Stan ta shliakhy polipshennia. Kyiv: Svit. [in Ukrainian].
20. Rozum, R. I., Buriak, M. V., Vitrovyi, A. O. (2020). Heodeziia ta zemleustrii / za zah. red. R. I. Rozuma. Ternopil: TNEU. 247 [in Ukrainian].
21. Sydorenko V. Zroshennia v Ukraini. Ahrobiznes sohodni. URL: <http://www.agro-business.com.ua> [in Ukrainian].
22. Sossa, R. I. (2014). Topohrafichne kartohrafuvannia Ukrainy (1917–1920). Kyiv: Nauk. Dumka [in Ukrainian].
23. Stvorennia ortofotoplanu. URL: <https://magneticonemt.com/stvorennia-ortofotoplanu> [in Ukrainian].
24. Topografo-heodezychni ta kartohrafichni roboty. URL: <https://zempro.xyz/zymka> [in Ukrainian].
25. Horlachuk V. V., Viun V. H., Peschanska I. M. (2007). Upravlinnia zemelnymy resursamy. Lviv: Mahnoliia [in Ukrainian].
26. Tsyfrova model reliefu (TsMR). URL: <https://def-c.com/ua/services/tsifrova-model-relefu> [in Ukrainian].
27. Drone Mapping. URL: [https://www.mapsmadeeasy.com/drone\\_mapping](https://www.mapsmadeeasy.com/drone_mapping) [in Ukrainian].