ISSN 2306-1677 (Print) ISSN 2518-7325 (On-line)
Отримано: 12.08.2026; Прийнято: 26.08.2026; Опубліковано: 30.12.2026;
УДК 528:332.3 http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.04.14

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЇ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНОГО СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ

О.С. МАЛАЩУК,
кандидат економічних наук, доцент, в. о. завідувача кафедри геодезії, землеустрою та земельного кадастру,
E-mail: osmalashcuk@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7720-6475
Т.В. МОВЧАН,
кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, землеустрою та земельного кадастру,
E-mail: mov4an.tata@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8914-2632
Л.Ф. ВІКУЛІНА,
доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій,
E-mail: lepole1@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5467-5439
Одеський Державний Аграрний Університет

Анотація. *У статті досліджено сучасні цифрові технології та їхню роль і значення у галузі геодезії та землеустрою. Розглянуто впровадження цифрових трансформацій у виробничий процес прийняття управлінських рішень у сфері територіального розвитку, що зумовлено зростанням вимог до точності, оперативності та інтероперабельності просторових даних. Метою дослідження є аналіз ефективності впровадження цифрових технологій (GNSS-технологій, БПЛА-фотограмметрії, ГІС, штучного інтелекту тощо) у виробничий цикл землеустрою та визначення їхніх перспектив розвитку у цій сфері. Представлено еволюційний розвиток технічного оснащення галузі. Відзначено суттєве підвищення інформативності просторових даних завдяки переходу від традиційних тахеометричних методів до цифрових технологій. Розроблено аналітичне обґрунтування ефективності використання цифрових інструментів у геодезії та землеустрої, яке базується на системі показників точності, продуктивності та економічної доцільності. Проведено апробацію виробничого циклу, яка підтвердила переваги використання БПЛА та GNSS-приймачів за показниками трудомісткості, продуктивності та деталізації просторових даних під час проведення інвентаризації земельної ділянки (площею 10,7154 га) Зорянської територіальної громади Рівненського району Рівненської області. Виокремлено перспективи роз-*

Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

витку галузі, які пов'язані з впровадженням штучного інтелекту для предиктивної аналітики земельних ресурсів, технологій «цифрових двійників» (Digital Twins) територій та блокчейн-рішень для гарантування безпеки даних у кадастрових реєстрах. Визначено майбутні вектори розвитку геодезії та землеустрою, які передбачають перехід від дискретних вимірювальних інструментів до автономних інтелектуальних систем, з потребою відповідної трансформації системи професійної підготовки кадрів та розширення навичок фахівців у сфері просторового моделювання та управління інтелектуальними даними.

Ключові слова: *геопросторові дані, геоінформаційні системи (ГІС), GNSS, безпілотні літальні апарати (БПЛА), фотограмметрія, дистанційне зондування Землі, штучний інтелект, цифрові двійники, блокчейн.*

Вступ

Розвиток геодезії та землеустрою на сучасному етапі визначається підвищенням вимог до точності, повноти, актуальності та інтероперабельності просторових даних. Ці параметри впливають безпосередньо на ефективність прийняття рішень у галузі земельного адміністрування, формування банку геопросторової інформації. У контексті європейської інтеграції України цифрові технології становлять основу для гармонізації національної системи геопросторових даних із вимогами Директиви 2007/2/ЄС INSPIRE [1], що передбачає стандартизацію, доступність, обмін та інтероперабельність просторової інформації [2].

Аналіз досліджень та публікацій по темі дослідження

Сучасний розвиток геодезії та землеустрою нерозривно пов'язаний із глобальною цифровізацією, що зумовлює перегляд традиційних підходів до збору, опрацювання та управління геопросторовими даними. Ключовим аспектом цифрової трансформації галузі є автоматизація управлінських процесів. Дослідження О. Ступень, Н. Прокопенка та С. Шевчук [3] наголошують на тому, що цифрова трансформація системи землеустрою є невід'ємною умовою ефективної охорони та використання земельних ресурсів. У контексті національних викликів України О. Нестеренко та П. Яцук [4] аналізують геоінформаційні системи як ключовий елемент національної інформаційної інфраструктури, який забезпечує ефективне управління територіями, природними ресурсами, обороною та безпекою. Взаємозв'язок між геодезичним забезпеченням та функціонуванням ГІС для вдосконалення землеустрою України детально розглядається у роботі М. Кухара та співавторів [5], де обґрунтовується важливість категоріального моделювання даних. D. Bulysheva [6] та T. Movchan [7] підкреслюють важливість застосування інноваційних підходів у системі управління рекреаційними земельними ресурсами, моніторингу земель і створенні цифрових паспортів територій, що сприяє підвищенню якості розроблення та обґрунтування заходів, спрямованих на досягнення очікуваних результатів.

Технологічний прогрес у геодезичних методах знімання суттєво розширив можливості просторового

аналізу. Зокрема, використання безпілотних літальних апаратів (БпЛА) для високоточного моделювання місцевості, описане у роботі [8], набуває широкого практичного застосування для сучасних кадастрових потреб. Крім того, у дослідженні проведено аналіз сучасного стану цифрової трансформації в Україні та принципів впровадження її в геодезії та землеустрої [9]. Досліджувана галузь не може існувати без цифрових технологій через те, що землевпорядні вишукування (інженерно-геодезичні, інженерно-геологічні, інженерно-економічні, інженерно-гідрометеорологічні та інженерно-технічні) виконуються з використанням сучасного цифрового обладнання, а опрацювання їхніх результатів здійснюється за допомогою спеціального програмного забезпечення, що підтверджує високу адаптивність технологій до специфічних галузевих завдань[10], таких як збереження культурної спадщини в контексті сучасних тенденцій урбанізації [11] та ефективності використання земельних ресурсів у розрізі зі природно-сільськогосподарських зон [12].

Впровадження концепції «цифрових двійників» (Digital Twins) як інструменту управління земельними ресурсами, на прикладі досвіду Південної Кореї [13], демонструє високий рівень інтеграції даних у реальному часі. Одночасно з цим, застосування методів машинного навчання у межах моделі земельного адміністрування (LADM) та структурне тематичне моделювання [14] відкривають нові перспективи для автоматизації складних адміністративних процедур.

Метою даної статті є аналіз ефективності впровадження цифрових технологій (GNSS-технологій, БПЛА-фотограмметрії, ГІС, штучного інтелекту тощо) у виробничий цикл землеустрою та визначення їхніх перспектив розвитку у цій сфері. Для досягнення мети було поставлено такі завдання: 1) проаналізувати еволюцію цифрових засобів; 2) провести експериментальне порівняння методів на полігоні; 3) оцінити переваги та обмеження використання БПЛА і GNSS під час інвентаризації земельної ділянки.

Матеріали і методи дослідження

Джерельну базу дослідження сформували публікації вітчизняних і зарубіжних авторів з питань землеустрою, геодезії та геоінформатики. У процесі дослідження використано загальнонаукові та спеціальні методи: дедукції (для систематизації знань), аналітичний (для огляду літератури щодо ГІС, ДЗЗ та ШІ у земельному адмініструванні) та метод порівняльного аналізу (для зіставлення традиційних і цифрових методів). Практична частина дослідження базується на проведенні пілотного експерименту (апробації) у виробничих умовах.

Об'єкт дослідження: земельна ділянка комунальної власності сільськогосподарського призначення площею 10,7154 га, розташована на території Зорянської територіальної громади Рівненського району Рівненської області.

Апаратно-інструментальне забезпечення (обладнання): GNSS-обладнання: високоточний GNSS-приймач A-GEO GeoPuls із підтримкою RTK-вимірювань, паспортна точність яких становить ±(8 мм + 1 ppm) у плані та ±(15 мм + 1 ppm) за висотою

[15]. БПЛА квадрокоптерного типу DJI Mavic 3 Pro, оснащений основною камерою Hasselblad із матрицею 4/3 CMOS та роздільною здатністю 20 Мп [16]. Геодезичне обладнання: електронний тахеометр Sokkia CX-105 із паспортною точністю вимірювання кутів 5″ та точністю вимірювання відстаней на призму ±(2 мм + 2 ppm × D), який використовувався для виконання контрольних та класичних тахеометричних вимірювань під час паралельного порівняльного експерименту [17].

Програмне забезпечення. Agisoft Metashape використане для фотограмметричного опрацювання матеріалів аерофотознімання, вирівнювання знімків, побудови щільної хмари точок і створення ортофотоплану високої роздільної здатності. Програмний комплекс Digitals застосовано для камерального опрацювання, дешифрування матеріалів аерофотозніманя, векторизації контурів та формування землевпорядної документації. AutoCAD використано для редагування векторних даних, побудови меж і формування плану земельної ділянки. Мобільний додаток DJI Fly застосовано для налаштування параметрів БПЛА та контролю його роботи, а 3Dsurvey Pilot – для планування польотної місії, визначення меж досліджуваної території й формування маршруту аерофотознімання.

Хід експерименту та етапи виконання робіт. Порівняння класичного і цифрового методів проводилося шляхом паралельного виконання робіт на тестовому полігоні за таким покроковим алгоритмом:

1. Закладення пунктів і геодезичне забезпечення: створення локальної знімальної мережі за допомогою GNSS-приймача A-GEO GeoPuls у режимі RTK із прив'язкою до державної геодезичної мережі УСК-2000 (Зона X2) для забезпечення єдиної системи координат. Середні квадратичні похибки визначення координат меж за отриманими супутниковими даними не перевищили 2.0 см у плановому положенні (максимальна СКП П = 0.020 м) та 3.1 см у висотному положенні (максимальна СКП В = 0.031 м), що повністю задовольняє нормативні технічні вимоги до точності виконання такого виду геодезичних робіт.

2. Аерофотознімання території: Польотну місію сформовано в мобільному застосунку 3Dsurvey Pilot із визначенням меж досліджуваної території, висоти польоту, просторової роздільної здатності знімків та маршруту БПЛА. Поздовжнє перекриття знімків становило 80%, поперечне – 70 %, а розрахункове значення GSD – 1,3 см/піксель. Аерофотознімання виконано за допомогою БПЛА DJI Mavic 3 Pro в автоматизованому режимі. Паралельно на ключових точках виконувалися контрольні вимірювання електронним тахеометром Sokkia CX-105.

3. Камеральне опрацювання: Матеріали аерофотознімання та координати опорних точок імпортовано до програмного середовища Agisoft Metashape. Камеральне опрацювання включало вирівнювання знімків, геодезичну прив’язку фотограмметричної моделі, побудову щільної хмари точок, цифрової моделі поверхні та ортофотоплану. Точність отриманих матеріалів оцінено за відхиленнями координат контрольних точок.

4. Векторизація та аналіз: На основі ортофотоплану в програмному середовищі Digitals та AutoCAD виконано векторизацію меж земельної ділянки і внутрішніх контурів угідь, а також розраховано їхні площі. Ре-

зультати цифрового методу порівняно з даними тахеометричного знімання за показниками планового положення характерних точок, площі ділянки, польової та камеральної трудомісткості й загальних людино-годин.

Результати та їх обґрунтування

В останні десятиліття розвитку геодезії та землеустрою простежується поетапний перехід від простої цифровізації до утворення інтелектуальних геопросторових систем (табл.1) [1;2;18-22].

На сучасному етапі цифрові технології охоплюють повний цикл виконання геодезичних і землевпорядних робіт для створення достовірності уніфікованого цифрового середовища, де кожна координатна позиція має верифіковане походження, а кожен вимірювальний акт – метрологічну валідність і юридичну релевантність [18].

Геоінформаційні системи (ГІС) належать до основних цифрових технологій, що забезпечують візуалізацію й аналіз просторових даних, створення електронних карт, обґрунтування розподілу земель та виявлення змін у структурі землекористування. Важливими інструментами сучасного моніторингу земель є дистанційне зондування Землі та використання супутникових даних [9]. За допомогою цих інструментів отримують високоточні дані про стан територій віддалених районів, ділянок зі складним рельєфом, несприятливими умовами або наслідками воєнних дій без фізичної присутності фахівців на об’єкті.

Сучасні GNSS-приймачі, що підтримують технології RTK, Network RTK та PPP, дозволяють забезпечити визначення координат із сантиметровою точністю в режимі реального часу – це суттєво розширює функціональні можливості систем управління земельними ресурсами, земельного кадастру та міського розвитку [18]. Поєднання аерофотограмметрії та даних GNSS надає високодеталізовану та актуальну інформацію про стан сільськогосподарських та лісових земель, гарантуючи високу достовірність результатів моніторингу земель [23]. Крім того, ГНСС допомагає стежити за геодинамічними процесами, що забезпечує краще розуміння змін навколишнього середовища та зменшення ризиків стихійних лих. Наукові дослідження підтверджують, що використання GNSS-апаратури для моніторингу деформацій схилів порівняно з традиційними геодезичними забезпечує високоточні спостереження за берегоукріплювальною спорудою, виявлення зон активних зсувів та можливість надавати пропозиції щодо особливостей та умов подальших спостережень [24].

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають невід’ємним інструментом у сфері геодезії та землеустрою. Аерофотознімання значно оптимізує процес просторового аналізу, скорочує час на камеральну обробку матеріалів та забезпечує високу деталізацію об'єктів. За допомогою програм автоматизованого фотограмметричного опрацювання (Pix4D, ContextCapture, Photoscan та інші) аерофотознімки конвертують у високоточне безперервне ортофотозображення або цифрову модель місцевості, усуваючи геометричні викривлення та забезпечуючи високу якість матеріалів. Інтеграція таких сучасних методів, як автоматизоване опрацювання геоданих і використання ГІС-інструментарію стала визначальною умовою ефективного

1. Еволюція цифрових технологій у геодезії та землеустрою

2000-2005 Початок цифровізації	2006-2012 Формування цифрової інфраструктури	2013-2019 Інтеграція та автоматизація	2020-2025 Цифрова трансформація	2026-2035 Інтелектуальна геопросторова система
Перехід від аналогових до електронних приладів; використання GPS; створення цифрових планів у CAD – системах; поява перших ГІС-платформ	Використання GNSS з двочастотними приймачами; створення мереж постійно діючих референтних станцій; розвиток ГІС та просторових БД; цифрова фотограмметрія; лазерне сканування (початок застосування).	Масове використання БПЛА та аерофотознімання; розвиток LIDAR та 3D-моделювання; хмарні обчислення та сервіси; інтеграція ГІС із кадастрами та реєстрами; мобільні ГІС та польові додатки; автоматизація обробки даних.	Штучний інтелект та машинне навчання; автоматичне розпізнання об'єктів; цифрові двійники територій; інтеграція BIM та ГІС; Великі дані та аналітика; Інтернет речей у моніторингу земель; Блокчейн для реєстрації прав на землю.	Повна інтеграція Al, IoT, 5G/6G, Edge та хмарних технологій; автономні системи збору даних (дрони, наземні роботи, сенсори); гіперавтоматизація геодезичних і землевпорядних процесів; глобальні відкриті геодані та інтероперабельність; сталий розвиток та «зелений» моніторинг; реалізація концепції Smart Land Management.
Результат етапу	**Результат етапу**	**Результат етапу**	**Результат етапу**	**Результат етапу**
Затверджено державну програму розвитку топографо-геодезичної діяльності та започатковано створення цифрової картографічної основи.	Сформовано нормативні й технологічні засади функціонування Державного земельного кадастру як єдиної геоінформаційної системи	Запроваджено автоматизовану систему Державного земельного кадастру та відкрито Публічну кадастрову карту України.	Створено правові й технічні засади Національної інфраструктури геопросторових даних та інтероперабельності геоінформаційних ресурсів	Очікується формування інтегрованої інтелектуальної геопросторової екосистеми з автоматизованим оновленням та аналізом даних

Джерело: систематизовано авторами на основі нормативно-правових документів України та наукових публікацій [1;2;18-22].

управління земельним фондом [25]. Поєднання GNSS-технологій та БПЛА дозволяє створити високоточні ортофотоплани та цифрові моделі рельєфу, підвищуючи при цьому точність та економічну ефективність кадастрових і землевпорядних робіт. Такі матеріали забезпечують належну деталізацію картографічних даних для земель водного фонду, де традиційні методи геодезії є малоефективними через складний рельєф та несприятливі умови довкілля [18].

Лазерне сканування (LiDAR) розглядають як прогресивну технологію збору просторових даних, завдяки якій отримують високоточні 3D-моделі незалежно від стану рельєфу чи рослинності. В основу роботи системи покладено принцип вимірювання часу повернення лазерних імпульсів, відбитих від земної поверхні. Синхронізація даних сенсора та навігаційних систем (GPS/INS) під час руху носія, забезпечує перетворення відстаней у масив тривимірних координат (хмари точок) з детальною візуалізацією об'єктів. Технологія LiDAR знайшла широке застосування під час проведення контролю транспортних мостів на предмет динамічних навантажень, вібрацій і циклічних

деформацій, які можуть призвести до руйнування споруди. У моніторингу житлових та громадських будівель основна увага приділяється виявленню дефектів опорних конструкцій, контролю осідання фундаментів, а також оцінці впливу кліматичних чинників і деградації будівельних матеріалів [26]. Зазначений напрям досліджень є особливо актуальним для ідентифікації пошкоджень об'єктів нерухомості, спричинених наслідками воєнних дій [27]. Зокрема, використання технології LiDAR значно підвищує ефективність аналізу міської морфології та оцінки стану зелених насаджень [14;27].

Комплексне використання технологій ДЗЗ та ГІС дозволяє провести цифрове моделювання території на основі актуальних даних та гарантує при цьому високу точність робіт. Геоінформаційне моделювання є ефективним інструментом управління земельними ресурсами, що дає змогу виявляти випадки нецільового використання земельних ділянок або їх самовільного зайняття. Це, своєю чергою, сприяє оптимізації податкових надходжень, забезпеченню належного екологічного контролю в межах охоронних зон та впровадженню прозорих механізмів управління земельними ресурсами на рівні територіальних громад [28].

Технології хмарних обчислень, як напрям цифрової трансформації, призначені для централізованого зберігання великих обсягів геопросторових даних, забезпечуючи їх резервування, синхронізацію та дистанційний доступ незалежно від місця виконання робіт. Хмарні сервіси орієнтовані на функціонування єдиних цифрових платформ землеустрою, інтеграцію державних кадастрових інформаційних систем, геопорталів та сервісів відкритих даних. Цифрові бази даних виступають ключовим інструментом прозорих земельних відносин та ефективного адміністрування, надаючи безперешкодний доступ до кадастрової інформації. Оскільки кожна операція в електронній системі підлягає чіткому моніторингу, це дозволяє радикально зменшити бюрократичне навантаження та усунути передумови для корупції [29]

Управління земельними ресурсами потребує побудови цілісної системи реєстрації земельних ділянок та прав на них. Вирішення цього завдання можливе шляхом впровадження технології блокчейн, завдяки якій можна мінімізувати недоліки існуючих облікових реєстрів. Децентралізована архітектура блокчейну з розподіленим реєстром забезпечує високий рівень криптографічного захисту даних, виключаючи можливість їх фальсифікації. Система надає можливість авторизованим учасникам здійснювати прозорий моніторинг транзакцій, змін статусу об’єктів та накладених обмежень. Проте ключовим технологічним викликом залишається забезпечення ефективної обробки великих масивів просторових та кадастрових даних у межах такої системи [30].

Оптимальним інструментом для аналітики та прийняття обґрунтованих управлінських рішень є впровадження технологій Big Data. Технологія забезпечує комплексне опрацювання структурованих та неструктурованих даних, характеризуючись високою швидкістю їх опрацювання, динамічністю оновлення та різноманітністю форматів представлення інформації [4].

Однією з найбільш перспективних тенденцій є формування цифрових

двійників територій (Digital Twin), які являють собою інтегровані цифрові моделі реальних об'єктів або територій із можливістю їх постійного оновлення в режимі реального часу [11]. Цифрові двійники забезпечують інтеграцію даних геодезичних вимірювань, дистанційного зондування, сенсорного моніторингу, кадастрової інформації та результатів просторового аналізу в єдиному інформаційному середовищі. Термін «цифровий двійник» описує процес створення великої віртуальної копії реального об'єкта або середовища [13;31].

Запровадження штучного інтелекту (ШІ) та алгоритмів машинного навчання відкриває нові можливості автоматизації геодезичних процесів. Сучасні алгоритми ШІ дозволяють автоматично класифікувати об'єкти за матеріалами ДЗЗ та аерофотознімання, ідентифікувати межі земельних ділянок, контролювати використання земель, прогнозувати зміни землекористувань та виявляти порушення земельного законодавства. Перевагами застосування ШІ є скорочення часу опрацювання геопросторової інформації, підвищення точності аналізу та мінімізація суб'єктивного впливу оператора [3;18]. Для класифікації та аналізу закономірностей у даних спостережень Землі найбільш підходять такі алгоритми, як випадковий ліс (RF), згорткові нейронні мережі (CNN) та метод опорних векторів (SVM). Для моделювання міських моделей використовуються генеративно-змагальні мережі (GAN). Крім того, для вивчення зростання міст, змін у землекористуванні та аналізу моделей розселення використовуються такі алгоритми, як клітинні автомати, просторова логістична регресія та агентне моделювання [32].

Сучасні дослідження цифрових технологій підтверджують їхній значний потенціал та стрімке поширення у світі. Зокрема, вони забезпечують реалізацію чотирирівневого виробничого циклу в геодезії та землеустрої – від безпосереднього збору польових даних до їхнього хмарного адміністрування. Впровадження таких технологій як блокчейн, великі дані (Big Data) та штучний інтелект забезпечує швидке, технічно обґрунтоване та економічно ефективне вирішення складних завдань галузі. Лише перший етап цифрових інновацій дозволив скоротити часові виробничі витрати на 40–60% [6;11;14]. Спираючись на поточний стан розвитку інструментів планування землекористувань та враховуючи динаміку розвитку нових технологій галузі, можна визначати ключові перспективи майбутнього цифрових інструментів (табл. 2) [9;18;27;33].

2. Інтеграція технологічного циклу та прогнозів розвитку крену

Рівень (Етап)	Поточний стан	Перспективні технології та вектори розвитку
Польовий рівень	GNSS, БПЛА, лазерне сканування	Автономні роботизовані комплекси, сенсори реального часу (IoT)
Камеральний рівень	Фотограмметрія, обробка хмар точок	Гіперавтоматизація, хмарне опрацювання «на льоту» (Edge Computing)
Аналітичний рівень	ГІС-моделювання, моніторинг	ШІ-аналітика, предиктивні моделі змін землекористування
Управлінський рівень	Web-портали, хмарні сервіси	Цифрові двійники (Digital Twins), блокчейн-реєстри, відкриті геопросторові дані (Open Data), Smart Land Management*

Джерело: [27].

Широке впровадження геопросторових технологій є очевидним. Географічні інформаційні системи (ГІС), глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС) і технології дистанційного зондування (ДЗЗ) все частіше використовуються для підвищення точності та ефективності землевпорядкування й картографування. Ці технології пропонують високоточні дані, сприяючи збору та аналізу даних у режимі реального часу та стимулюючи попит на більш досконалі інструменти планування землекористування. Синтез ШІ, машинного навчання та аналітики великих даних відкрив нові горизонти в управлінні земельними ресурсами, дозволяючи опрацьовувати складні масиви даних із надзвичайною точністю та створити предиктивні моделі для аналізу та прогнозування змін у землекористуванні та оптимізації інвестиційних проєктів для громад. Технології віртуальної реальності (VR) та доповненої реальності (AR) покращують або трансформують реальний досвід за допомогою інтерактивного середовища, розширюючи функціонал інструментів планування землекористування (моделювання забудови). Застосування технології «Цифрові двійники» буде спрямовано на формуванні 4D-моделей з урахуванням просторової структури та динамічних змін у часі (наприклад, трансформація ландшафту, вплив забудови, просторові зміни). Перспективне використання автономних роботизованих комплексів (гіперавтоматизація) передбачає проведення зйомки території без безпосередньої присутності оператора – це сприятиме мінімальному впливу людського фактору та дозволить здійснювати моніторинг у цілодобовому режимі [32].

Інтероперабельність геоданих нового рівня ґрунтується на концепції відкритих даних (Open Data) і стандартизації протоколів міждержавного кадастрового обміну на базі 5G/6G-мереж. Це забезпечить швидкий доступ до просторових даних високої роздільної здатності. Заміна звичайних баз даних на розподілені реєстри (блокчейн) для автоматизованої реєстрації прав власності дозволить усунути ризики шахрайства через «розумні контракти» (smart contracts), які автоматично виконуються при відповідності даних кадастру правовим нормам [32]. Еволюція цифрових технологій вимагає не лише технічного переоснащення, а й удосконалення професійної підготовки кадрів. Сучасний фахівець із геодезії та землеустрою повинен бути не тільки оператором вимірювальних приладів, але насамперед стратегом, який володіє навичками просторової аналітики та управління інтелектуальними системами. Таким чином, перспективи розвитку галузі лежать у площині зближення інженерних знань та інформаційних технологій.

На сьогодні застосування цифрових технологій у галузі геодезії та землеустрою можна оцінити через їхню ефективність. Оцінка ефективності враховує об'єктивні економічні закони та розробку системи відповідних кількісних показників: точності, часу, відносного рівня витрат, якість інтегрованості (табл.3). Відносний рівень витрат визначено за п’ятибальною шкалою, де 1 – найнижчі, а 5 – найвищі сукупні витрати. Під час оцінювання враховано польові роботи, амортизацію обладнання, програмне забезпечення та камеральне опрацювання даних. Бальну оцінку сформовано на основі узагальнення технічних характеристик обладнання, тривалості польових і камеральних робіт, потреби у спеціалізованому програмному забезпеченні

3. Порівняльна характеристика методів збору геопросторових даних з показниками оцінки

Метод збору даних	Точність (мм)	Продуктивність (га/зміну)	Відносний рівень сукупних витрат (1-5 балів)	Складність опрацювання (бал 1-5)
Тахеометр (класичний)	1–5	2–5	3	1
GNSS-приймачі (RTK)	8–15	50–100	2	2
БПЛА (фотограмметрія)	10–30	200–500	3	4
LiDAR (наземний)	2–10	1–2	5	5

та кваліфікованому персоналі. Вона не є розрахунком фактичної собівартості робіт.

Ефективність циклу перевіряється шляхом паралельного виконання робіт традиційним методом та методом інтегрованого цифрового моделювання з подальшим статистичним порівнянням отриманих просторових даних за критеріями точності та часових витрат. Для апробації запропонованого виробничого циклу було обрано земельну ділянку комунальної власності сільськогосподарського призначення Зорянської територіальної громади Рівненського району Рівненської області, на якій передбачено проведення інвентаризації з метою її формування для продажу права оренди на земельних торгах у формі аукціону (рис.1). Вибір зумовлений необхідністю перевірки точності інтеграції даних БПЛА в умовах різнорідного землекористування.

Площа земельної ділянки 10,7154 га. Ділянка має складну конфігурацію (наявність ламаних меж та внутрішнього контуру «рілля»), що дозволяє продемонструвати переваги сучасного виробничого циклу. Аналіз ефективності інвентаризації ділянки показано в таблиці 4.

У проведеному дослідженні тривалість польових робіт скоротилася з двох робочих змін до 1,5–2 годин, тобто приблизно у 8–10 разів. Водночас із урахуванням фотограмметричного опрацювання знімків, побудови хмари точок, формування ортофотоплану та векторизації контурів скорочення загальної трудомісткості було меншим і становило орієнтовно у 4,5–7 разів. Такий результат підтверджує, що найбільша економія часу досяга-



Рис.1. Проєктна земельна ділянка Зорянської територіальної громади: а – ортофотоплан, б – план земельної ділянки

Джерело: складено авторами за результатами польових досліджень 2026 р.

4. Аналіз ефективності проведення інвентаризації земель

Критерій оцінки	Класичний метод (Тахеометрія)	Цифровий метод (БПЛА + GNSS)	Ефект від цифровізації
Польова трудомісткість	32 людино-год	1,5–2 людино-год	Скорочення приблизно у 16–21 раз
Камеральна трудомісткість*	4–6 людино-год	4–6 людино-год	Зіставна тривалість за різного характеру операцій
Загальна трудомісткість	36–38 людино-год	5,5–8 людино-год	Скорочення приблизно у 4,5–7 разів
Обсяг отриманих даних	Координати 22 поворотних точок	Щільна хмара точок та ортофотоплан	Підвищення просторової деталізації
Побудова контуру	За результатами окремих вимірювань	За ортофотопланом і хмарою точок	Зменшення ризику пропуску деталей

**Камеральну трудомісткість тахеометричного методу визначено розрахунково за складом типових операцій – передаванням і перевіркою вимірювань, обчисленням координат, побудовою контуру та оформленням графічних матеріалів. Для цифрового методу враховано активну роботу оператора під час фотограмметричного опрацювання без повного зарахування автономного машинного часу*

ється саме на польовому етапі, тоді як камеральне опрацювання матеріалів БПЛА залишається відносно тривалим і потребує спеціалізованого програмного забезпечення. Одержані результати загалом узгоджуються з висновками інших дослідників щодо зменшення трудомісткості геодезичних і землевпорядних робіт унаслідок використання БПЛА. Зокрема, В. Тарнавський [8] відзначає, що застосування безпілотних технологій дає змогу суттєво скоротити тривалість польового етапу та одночасно підвищити деталізацію просторових даних. О. Браславська [31] також наголошує на перевагах автоматизованого аерофотознімання порівняно з традиційним наземним зніманням, насамперед за показниками продуктивності, повноти охоплення території та можливості повторного використання отриманих матеріалів. Відмінності між отриманими результатами та висновками інших дослідників [8] та [31] можуть бути зумовлені площею і конфігурацією території, кількістю поворотних точок, відкритістю місцевості, складом польової бригади, способом геодезичної прив'язки, параметрами польоту та потужністю обладнання для фотограмметричного опрацювання. У цьому дослідженні значне скорочення польової трудомісткості пояснюється відносно невеликою площею ділянки – 10,7154 га, відкритим характером території та можливістю виконати її суцільне аерофотознімання за один автоматизований політ. Натомість за складнішого рельєфу, щільної забудови, лісового покриву або необхідності виконання повторних польотів перевага цифрового методу може бути менш вираженою.

Висновки

Під час дослідження було проаналізовано цифрові технології галузі геодезії та землеустрою. Географічні інформаційні системи (ГІС), глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС) та технології дистанційного зондування забезпечують отримання високоточних даних, сприяють їхньому збору та аналізу у режимі реального часу та формують попит на більш досконалі інструменти планування землекористування. Інтеграція штучного інтелекту (ШІ), машинного навчання (МН) та просторово-часових алгоритмів великих даних дає

змогу створювати високоточні плани місцевості, карти та цифрові моделі рельєфу. Це оптимізує процеси розпізнавання об'єктів, класифікації зображень та прогнозного аналізу використання земельних ресурсів. Технологія блокчейн створює прозору та надійну систему реєстрації прав власності на земельні ділянки. Її використання забезпечує обмін даними через єдину платформу для державних установ, землевласників та проєктантів, запобігаючи шахрайству та суперечкам. Загалом цифрові технології покращують якість геодезичних робіт та сприяють економії часу і ресурсів, створюючи умови для переходу від традиційних методів збору даних до інтелектуальних систем земельного адміністрування. У таких системах пріоритетними стають автономність, аналітика, оперативність прийняття рішень та повна цифрова інтеграція в режимі реального часу. Доведено, що використання БПЛА дозволяє нівелювати помилки пропуску меж у складних конфігураціях. За результатами апробації встановлено, що застосування БПЛА та GNSS скоротило тривалість польового етапу з двох робочих змін до 1,5–2 годин. Загальна трудомісткість цифрового методу з урахуванням камерального опрацювання становила 5,5–8 людино-годин порівняно з розрахунковими 36–38 людино-годинами для тахеометричного методу, тобто зменшилася приблизно у 4,5–7 разів.

Перспективами досліджень впровадження цифрових технологій галузі геодезії та землеустрою повинні полягати у їх реалізації у забезпеченні сталого розвитку територій, у боротьбі зі змінами клімату та наслідками воєнних дій.

Список використаної літератури

1. Про створення Інфраструктури просторової інформації у Європейському Співтоваристві (INSPIRE): Директива Європейського Парламенту та Ради 2007/2/ЄС від 14 березня 2007 р. № 984_002-07. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-07#Text (дата звернення: 1.07.2026)
2. Про національну інфраструктуру геопросторових даних: Закон України від 13.04.2020 р. № 554-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text (дата звернення: 1.07.2026)
3. Ступень О. І., Прокопенко Н. І., Шевчук С. М. Цифрова трансформація системи землеустрою: автоматизація управлінських процесів у сфері використання та охорони земельних ресурсів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту.* 2025. Вип. 212. С.172-184. DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336296
4. Нестеренко О.В., Яцук П.П.. Розвиток геоінформаційних систем як технологічна інноваційна стратегія. *Екологічна безпека та природокористування.* 2026. Вип. 1 (57). С. 141-161 https://doi.org/10.32347/2411-4049.2026.1.141-160
5. Кухар М.А., Маслій Л.О., Воронков О.О. Категоріальне моделювання інтеграції геодезії та ГІС для вдосконалення землеустрою України. *Комунальне господарство міст.* 2026. Том 1. Вип. 196. С.197-205 DOI: 10.33042/3083-6727-2026-1-196-197-205
6. Bulysheva D., Movchan T., Malashuk O. Foresight-forecasting in the system of recreational land management. *Geodesy and cartography*. 2021. Vol. 70. № 1. P.1-17. DOI: https://doi.org/10.24425/gac.2021.136678
7. Movchan T.V., A. Khohriakova, L. Vikulina Proposal for grouping and passportization

of soils of urbanized territories land Congress on Agriculture and Natural Sciences : V International Eurasian Online, Kony, 23 October 2021. Turkey: Kony Food and Agricultural University (KGTU), 2021. P. 60-63. URL: https://agrieurasia.com/pdf/Metin_Tam.pdf

8. Тарнавський В.А., Сіроштан Т.М., Ко-=марова Н.В., Камінецька О.В. Інтегровані гео-=просторові підходи до високоточного моделювання місцевості з використанням БпЛА у сфері кадастру та землеустрою. *Український журнал дистанційного зондування Землі.* 2026. №13(1). С. 15–24. https://doi.org/10.36023/ujrs.2026.13.1.291
9. Мовчан Т. В., Артемов В.О., Бахчеван Е.В., Данько Т.О Принципи цифрової трансформації і впровадження її в геодезії та землеустрої господарств. *Аграрний вісник Причорномор'я.* Економічні науки. 2020. Вип.96. С. 129-139. DOI: 10.37000/abbsl.2020.96.16
10. Artemov V., Movchan T., Vikulina L. Practical use of digitalization in geodesy and land management. *Вісник ЛНАУ: Економіка АП*К. 2020. № 27. С. 167-173. https://doi.org/110.31734/economics2020.27.167
11. Martyn, A., Novakovskyi, I., Novakovsky, D., Malashchuk, O., Movchan, T., Smolenska, L. Strategic Approaches to Urban Land and Cultural Legacy: Institutional Insights from Ukrainian Cities. Innovative and Intelligent Digital Technologies; Towards an Increased Efficiency. *Studies in Systems, Decision and Control.* 2024. № 564. P. 471-481. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70399-7_36
12. Костюкєвич Т.К., Данілова Н.В., Толмачова А.В., Мовчан Т.В., Малащук О.С. Сучасний стан та ефективність використання земельних ресурсів Одеської області. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель.* 2025. № 2. С. 39-49. DOI: https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.02
13. Park J., Choi W., Jeong T., Seo J. Digital twins and land management in South Korea. *Land Use Policy*. 2023. №124. 106442. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106442
14. Mehmood U., Ujang U., Azri S. Machine Learning based literature review of Land Administration Domain Model (LADM): a structural topic modelling approach. *Bulletin of Geodetic Science*s. 2025. №31: e2025006. DOI 10.1590/s1982-21702025000100006
15. AlphaGEO. Систем Солюшнс : веб-сайт. URL: https://systemnet.com.ua/product/alphageo-l2/ (дата звернення: 1.07.2026)
16. DJI Mavic 3 Pro. DJI: веб-сайт. URL: https://www.dji.com/global/mavic-3-pro/specs (дата звернення: 1.07.2026)
17. Sokkia CX-105. ТОВ «Завод Укрмашпром» : веб-сайт. https://surl.li/afavzv (дата звернення: 1.07.2026)
18. Малащук О.С., Мовчан Т.В., Рожі Т.А. Інтелектуальні технології в еволюції електронних геодезичних приладів: концептуальні засади інтеграції штучного інтелекту в системи просторового управління та геоінформаційного середовища. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2025. № 4. С. 95-107. DOI: https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.07
19. Про затвердження Державної науково-технічної програми розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2003-2010 роки: Постанова Кабінету Міністрів України від 16.01.2003 р. № 37. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37-2003-%D0%BF/ed20040621#Text (дата звернення: 1.07.2026)
20. Про Державний земельний кадастр: Закон України від 07.07.2011 р. № 3613-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text (дата звернення: 1.07. 2026)
21. Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референ-

цної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою: наказ Мінагрополітики України від 02.12.2016 № 509. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/z1646-16?utm_source=chatgpt.com#Text (дата звернення: 1.07.2026)

22. Про затвердження технічних вимог до геопросторових даних, метаданих і геоінформаційних сервісів НІГД: наказ Мінагрополітики України від 10.11.2021 № 347. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/uk-ru/z0021-22?utm_source=chatgpt.com#Text (дата звернення: 1.07.2026)
23. Şmuleac A., Şmuleac L., Paşcalău R., Dragomir L., Popescu G. Compensation of an integrated geodetic network composed of gnss vectors for topo-cadastral works. Research Journal of Agricultural Scienc. 2025. №57(2). P. 174-190. http://doi.org/10.59463/RJAS.2025.2.21
24. Bulysheva D., Leonidova I., Malashchuk O., Movchan T., Varfolomeyeva O., & Panasuk O. Geodetic monitoring of landslide processes in coastal territories. Geodesy and Cartography, 2025. №51(2). P. 50–60. https://doi.org/10.3846/gac.2025.20300
25. Браславська О.В., Нестеренко С.В., Герасимчук О.Л. Дистанційний геодезичний моніторинг: ключовий інструмент сталого управління земельними ресурсами. *Містобудування та територіальне планування.* 2025. №89. С. 488–502. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.89.488-502 14
26. Клюєв В., Бакулін Є. Методи 3D-сканування із використанням безпілотних літальних апаратів для оцінки технічного стану будівель та споруд. *Наука та будівництво.* 2025. № 42(4). С.60-66. DOI: https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2024-7
27. Олійник Г., Василенко К. Інтеграція фотограмметрії і технологій Lidar у систему архітектурної освіти України: виклики та перспективи. Українська академія мистецтва. 2025. № 37. С. 63–73. DOI https://doi.org/10.32782/2411-3034-2025-37-8
28. Серьогін Д. Принципи обробки та тривимірного моделювання через лідарні дані для прикладних досліджень міського середовища. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія».* 2022. Вип. 57. С. 218-233. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-17
29. Смолярчук М., Ковалишин О. Роль цифрових інструментів у підвищенні ефективності управління земельними відносинами у територіальних громадах. Вісник Львівського національного університету природокористування. *Серія «Архітектура та будівництво»*. 2025. № 26. С. 91-96. https://doi.org/10.31734/architecture2025.26.091
30. Гой В., Мамонов К., Харів В. Використання технологій блокчейну для покращення аутентифікації та захисту даних у геодезії та землеустрої. *Містобудування та територіальне планування.* 2024. №85. С. 67–81. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.67-81
31. Нестеренко С. Г., Радзінська Ю. Б., Доброходова О. В. Геодезичне і картографічне забезпечення цифрових двійників територій. *Комунальне господарство міст.* 2026. Том 1. Вип. 196. С.232-241. DOI: 10.33042/3083-6727-2026-1-196-232-241
32. Liu Y., Timo de Vries W., Zhang G., Cui X. From tradition to smart: A comprehensive review of the evolution and prospects of land use planning tools. Heliyon. 2024. № 10. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40857
33. Зацерковний В., Ворох В., Глоба О., Мірончук Т., Плічко Л. Особливості застосування ГІС, GPS, ДЗЗ та ШІ в дослідженні ґрунтових характеристик. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2025. Том 3 № 110. С. 98-107. DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2713.110.11

References

1. European Parliament and Council of the European Union. (2007, march 14) Pro stvorennya Infrastruktury prostorovoyi informatsiyi u Yevropeys'komu Spivtovarystvi (INSPIRE) [Establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)] (Directive 2007/2/EC №. 984_002-07). Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-07#Text [in Ukrainian].
2. Verkhovna Rada of Ukraine. (2020, april 13) Pro natsional'nu infrastrukturu heoprostorovykh danykh [On the National Geospatial Data Infrastructure] (Law of Ukraine № 554-IX]. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text [in Ukrainian].
3. Stupen', O. I., Prokopenko, N. I., Shevchuk, S. M. (2025) Tsyfrova transformatsiya systemy zemleustroyu: avtomatyzatsiya upravlins'kykh protsesiv u sferi vykorystannya ta okhorony zemel'nykh resursiv [Digital transformation of the land management system: automation of management processes in the field of use and protection of land resources]. *Zbirnyk naukovykh prats' Ukrayins'koho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transport* [Collection of scientific papers of the Ukrainian State University of Railway Transport], 212, 172-184. https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336296 [in Ukrainian]
4. Nesterenko, O.V., Yatsuk, P.P. (2026) Rozvytok heoinformatsiynykh system yak tekhnolohichna innovatsiyna stratehiya [Development of geoinformation systems as a technological innovation strategy]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya* [Ecological safety and nature management], 1 (57), 141-161. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2026.1.141-160 [in Ukrainian]
5. Kukhar, M.A., Masliy, L.O., Voronkov, O.O. (2026) Atehorial'ne modelyuvannya intehratsiyi heodeziyi ta HIS dlya vdoskonalennya zemleustroyu Ukrayiny [Categorical modeling of geodesy and GIS integration for improving land management in Ukraine]. *Komunal'ne hospodarstvo mist* [Municipal Economy of Cities], 1, 196. 197-205. DOI: 10.33042/3083-6727-2026-1-196-197-205 [in Ukrainian].
6. Bulysheva, D., Movchan, T., Malashuk, O. (2021).Foresight-forecasting in the system of recreational land management. *Geodesy and cartography,* 70(1), 17. DOI: https://doi.org/10.24425/gac.2021.136678 [in English].
7. Movchan, T., Khohriakova, A., Vikulina, L. (2021) Proposal for grouping and passportization of soils of urbanized territories land Congress on Agriculture and Natural Sciences : V International Eurasian Online, (pp. 60-63) Kony, Turkey: Kony Food and Agricultural University (KGTU). Available at: https://agrieurasia.com/pdf/Metin_Tam.pdf [in English].
8. Tarnavs'kyy, V.A., Siroshtan, T.M., Komarova, N.V., Kaminets'ka, O.V. (2026) Intehrovani heoprostorovi pidkhody do vysokotochnoho modelyuvannya mistsevosti z vykorystannyam BpLAu sferi kadastru ta zemleustroyu [Integrated geospatial approaches to high-precision terrain modeling using UAVs in the field of cadastre and land management]. *Ukrayins'kyy zhurnal dystantsiynoho zonduvannya Zemli [*Ukrainian Journal of Remote Sensing of the Earth], 13(1), 15–24. https://doi.org/10.36023/ujrs.2026.13.1.291 [in Ukrainian].
9. Movchan, T. V., Artemov, V.O., Bakhchevan, E.V., Dan'ko, T.O (2020) Pryntsypy tsyfrovoyi transformatsiyi i vprovadzhennya yiyi v heodeziyi ta zemleustroyi hospodarstv [Principles of digital transformation and its implementation in geodesy and land management of farms]. *Ahrarnyy visnyk Prychornomor'ya. Ekonomichni nauky* [Agrarian Bulletin of the Black Sea Region. Economic Sciences], 96, 129-139. DOI: 10.37000/abbsl.2020.96.16 [in Ukrainian].
10. Artemov, V., Movchan, T., Vikulina, L. (2020)

Practical use of digitalization in geodesy and land management. Visnyk LNAU: Ekonomika APK [Bulletin of the LNAU: Economics of the Agricultural Industry], 27, 167-173. https://doi.org/110.31734/economics2020.27.167 [in English].

11. Martyn, A., Novakovskyi, I., Novakovsky, D., (2024) Malashchuk, O., Movchan, T., Smolenska, L. Strategic Approaches to Urban Land and Cultural Legacy: Institutional Insights from Ukrainian Cities. Innovative and Intelligent Digital Technologies; Towards an Increased Efficiency. Studies in Systems, Decision and Control, 564, 471-481. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70399-7_36 [in English].
12. Kostyukyevych, T.K., Danilova, N.V., Tolmachova, A.V., (2025) Movchan T.V., Malashchuk O.S. Suchasnyy stan ta efektyvnist' vykorystannya zemel'nykh resursiv Odes'koyi oblasti [Current status and efficiency of land resource use in Odessa region.]. *Zemleustriy, kadastr i monitorynh zemel'*[Land management, cadastre and land monitoring], 2, 39-49. DOI: https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.02 [in Ukrainian].
13. Park, J., Choi, W., Jeong, T., Seo, J. (2023) Digital twins and land management in South Korea. Land Use Policy, 124, 106442. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106442 [in English].
14. Mehmood, U., Ujang, U., Azri, S. (2025) Machine Learning based literature review of Land Administration Domain Model (LADM): a structural topic modelling approach. *Bulletin of Geodetic Sciences,* 31: e2025006. DOI 10.1590/s1982-21702025000100006 [in English].
15. AlphaGEO. Available at: URL: https://systemnet.com.ua/product/alphageo-l2/ [in Ukrainian].
16. DJI Mavic 3 Pro. Available at: https://www.dji.com/global/mavic-3-pro/specs [in Ukrainian].
17. Sokkia CX-105. Available at: https://surl.li/afavzv [in Ukrainian].
18. Malashchuk, O.S., Movchan, T.V., Rozhi, T.A. (2025) Intelektual'ni tekhnolohiyi v evolyutsiyi elektronnykh heodezychnykh pryladiv: kontseptual'ni zasady intehratsiyi shtuchnoho intelektu v systemy prostorovoho upravlinnya ta heoinformatsiynoho seredovyshcha [Intelligent technologies in the evolution of electronic geodetic devices: conceptual principles of integrating artificial intelligence into spatial management systems and geoinformation environment]. *Zemleustriy, kadastr i monitorynh zemel'[*Land management, cadastre and land monitoring], 4, 95-107. DOI: https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.04.07
19. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2003, january 16) Pro zatverdzhennya Derzhavnoyi naukovo-tekhnichnoyi prohramy rozvytku topohrafo-heodezychnoyi diyal'nosti ta natsional'noho kartohrafuvannya na 2003–2010 roky. [On approval of the State scientific and technical program for the development of topographic and geodetic activities and national mapping for 2003–2010] (Resolution №. 37]. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37-2003-%D0%BF/ed20040621#Text [in Ukrainian].
20. Verkhovna Rada of Ukraine. (2011, july 7) Pro Derzhavnyy zemel'nyy kadastr [On the State Land Cadastre] (Law of Ukraine №. 3613-VI). Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text [in Ukrainian].
21. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2016, december 2) Pro zatverdzhennya Poryadku vykorystannya Derzhavnoyi heodezychnoyi referentsnoyi systemy koordynat USK-2000 pry zdiysnenni robit iz zemleustroyu [On approval of the Procedure for using the State Geodetic Reference Coordinate System USK-2000 in land management works] (Order № 509). Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16#Text [in Ukrainian].
22. Ministry of Agrarian Policy and Food of

Ukraine. (2021, november 10) Pro zatverdzhennya tekhnichnykh vymoh do heoprostorovykh danykh, metadanykh i heoinformatsiynykh servisiv NIGD [On approval of technical requirements for geospatial data, metadata and geoinformation services of the National Geospatial Data Infrastructure] (Order № 347). Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0021-22#Text [in Ukrainian].

23. Șmuleac, A., Șmuleac, L., Pașcalău, R., Dragomir, L., Popescu, G. (2025) Compensation of an integrated geodetic network composed of gnss vectors for topo-cadastral works. *Research Journal of Agricultural Scienc,* 57 (2), 174-190. http://doi.org/10.59463/RJAS.2025.2.21[in English].
24. Bulysheva, D., Leonidova, I., Malashchuk, O., Movchan, T., Varfolomeyeva, O., Panasuk, O. (2025). Geodetic monitoring of landslide processes in coastal territories. Geodesy and Cartography, 51(2), 50–60. https://doi.org/10.3846/gac.2025.20300 [in English].
25. Braslavs'ka, O.V., Nesterenko, S.V., Herasymchuk, O.L. (2025) Dystantsiynyy heodezychnyy monitorynh: klyuchovyy instrument staloho upravlinnya zemel'nymy resursamy [Remote geodetic monitoring: a key tool for sustainable land resources management]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya* [Urban planning and territorial planning], 89, 488–502. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.89.488-502 [in Ukrainian].
26. Klyuyev,V., Bakulin, YE. (2025) Metody 3D-skanuvannya iz vykorystannyam bezpilotnykh lital'nykh aparativ dlya otsinky tekhnichnoho stanu budivel' ta sporud [3D scanning methods using unmanned aerial vehicles to assess the technical condition of buildings and structures]. *Nauka ta budivnytstvo* [Science and Construction], 42(4), 60-66. https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2024-7 [in Ukrainian].
27. Oliynyk, H., Vasylenko, K. (2025) Intehratsiya fotohrammetriyi i tekhnolohiy lidar u systemu arkhitekturnoyi osvity Ukrayiny: vyklyky ta perspektyvy [Integration of photogrammetry and lidar technologies into the architectural education system of Ukraine: challenges and prospects.]. *Ukrayins'ka akademiya mystetstva [*Ukrainian Academy of Arts], 37, 63–73. DOI https://doi.org/10.32782/2411-3034-2025-37-8 [in Ukrainian]
28. Ser'ohin, D. (2022) Pryntsypy obrobky ta tryvymirnoho modelyuvannya cherez lidarni dani dlya prykladnykh doslidzhen' mis'koho seredovyshcha [Principles of processing and three-dimensional modeling using lidar data for applied research of the urban environment]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho universytetu imeni V. N. Karazina, seriya «Heolohiya. Heohrafiya. Ekolohiya*» [Bulletin of the V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»], 57, 218-233. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-17 [in Ukrainian].
29. Smolyarchuk, M., Kovalyshyn, O. (2025) Rol' tsyfrovykh instrumentiv u pidvyshchenni efektyvnosti upravlinnya zemel'nymy vidnosynamy u terytorial'nykh hromadakh [The role of digital tools in increasing the efficiency of land relations management in territorial communities]. Visnyk L'vivs'koho natsional'noho universytetu pryrodokorystuvannya. Seriya «Arkhitektura ta budivnytstvo» [Bulletin of the Lviv National University of Environmental Management. Series «Architecture and Construction»], 26, 91-96. https://doi.org/10.31734/architecture2025.26.091. [in Ukrainian]
30. Hoy, V., Mamonov, K., Khariv, V. (2024) Vykorystannya tekhnolohiy blokcheynu dlya pokrashchennya autentyfikatsiyi ta zakhystu danykh u heodeziyi ta zemleustroyi [Using blockchain technologies to improve authentication and data protection in geodesy and land management]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya* [Urban planning and territorial planning], 85, 67–81. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.67-

81[in Ukrainian]
31. Nesterenko, S. H., Radzins'ka, YU. B., Dobrokhodova, O. V. (2026) Heodezychne i kartohrafichne zabezpechennya tsyfrovykh dviynykiv terytoriy [Geodetic and cartographic support for digital twins of territories]. *Komunal'ne hospodarstvo mist* [Municipal economy of cities], 1(196), 232-241, DOI: 10.33042/3083-6727-2026-1-196-232-241[in Ukrainian]
32. Liu, Y., Timo de Vries, W., Zhang, G., Cui, X., (2024)From tradition to smart: A comprehensive review of the evolution and prospects of land use planning tools. Heliyon, 10. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40857 [in English].
33. Zatserkovnyy, V., Vorokh, V., Hloba, O., Mironchuk, T., Plichko, L. (2025) Osoblyvosti zastosuvannya HIS, GPS, DZZ ta SHI v doslidzhenni gruntovykh kharakterystyk [Peculiarities of using GIS, GPS, remote sensing and AI in the study of soil characteristics]. *Visnyk Kyyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiya* [Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology], 3 (110), 98-107. DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2713.110.11[in English]. org/10.3390/rs12193254

Malashchuk O., Movchan T., Vikulina L.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN GEODESY AND LAND MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF THE CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'26: 224-241.
http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.04.14

Abstract. *The article examines modern digital technologies and their role and significance in the field of geodesy and land management. The implementation of digital transformations into the production process of managerial decision-making in the field of territorial development is considered, which is driven by the increasing requirements for the accuracy, timeliness, and interoperability of spatial data. The aim of the study is to analyze the effectiveness of implementing digital technologies, including GNSS technologies, UAV photogrammetry, GIS, artificial intelligence, and others, in the land management production cycle, as well as to determine their development prospects in this field. The evolutionary development of the technical equipment of the industry is presented. A substantial increase in the informativeness of spatial data was achieved through the transition from traditional total station surveying methods to digital technologies. An analytical justification for the effectiveness of using digital tools in geodesy and land management has been developed, based on a system of indicators of accuracy, productivity, and economic feasibility. The proposed workflow was tested, confirming the advantages of using UAVs and GNSS receivers in terms of labour intensity, productivity, and spatial data detail during the land inventory of a 10.7154 ha land parcel located within the Zoryanska Territorial Community, Rivne District, Rivne Region. The prospects for the development of the industry are identified, particularly those related to the implementation of artificial intelligence for predictive analytics of land resources, Digital Twins technologies for territories, and blockchain solutions to ensure data security in cadastral registers. Future vectors for the development of geodesy and land management have been defined. They involve a transition from discrete measuring instruments to autonomous intelligent systems, along with the need for a corresponding transformation of the professional training system and the expansion of specialists' skills in spatial modelling and intelligent data management.*

Keywords: *geospatial data, geographic information systems (GIS), GNSS, unmanned aerial vehicles (UAVs), photogrammetry, remote sensing, artificial intelligence, digital twins, blockchain.*