

УДК 528.3(045)

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-312-8-4>

СУЧАСНИЙ СТАН ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АЕРОПОРТІВ В УКРАЇНІ

С. Д. Крячок

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою
Чернігівського національного технологічного університету
ORCID: 0000-0001-5633-1501
geodesist2015@gmail.com

Т. М. Малік

кандидат технічних наук,
асистент кафедри геоінформатики ННІ «Інститут геології»
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
ORCID: 0000-0002-1362-8433
malik.tat@gmail.com

В. Ю. Беленок

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою
Національного авіаційного університету
ORCID: 0000-0001-5357-7493
belenok.vadim@nau.edu.ua

О. Л. Бойко

старший викладач кафедри аерокосмічної геодезії
та землеустрою
Національного авіаційного університету
ORCID: 0000-0001-8654-9392
boyko_lena@ukr.net

Розглянуто публікації та нормативні документи, які стосуються всього комплексу топографо-геодезичного забезпечення аеропортів в Україні: проектування, будівництва, експлуатації, ремонту та реконструкції. Наведено склад традиційних топографо-геодезичних робіт та їх кількісні характеристики. Розглянуто застосування передових технологій: аерознімання території аеропорту з використанням безпілотних літальних апаратів, лідарного знімання висотних перешкод на приаеродромній території, спостереження за осіданнями та деформаціями споруд аеропорту ефективним з використанням роботизованих комплексів на основі електронних тахеометрів та комп'ютерного опрацювання даних. Для забезпечення вихідним картографічним матеріалом заходів з ремонту і реконструкції споруд аеропорту запропоновано використовувати наземне лазерне сканування. За результатами патентного пошуку виявлено перспективні розробки стосовно роботизованих систем моніторингу твердих аеродромних покриттів та універсальної системи моніторингу деформацій споруд аеропорту в реальному часі. Запропоновано для реалізації концептуальну модель структури геоінформаційної системи адміністративно-економічного управління регіональними аеропортами з урахуванням вимог світового і національного досвіду, міжнародних та національних стандартів, сучасної технології збору геопросторових даних.

Ключові слова: топографо-геодезичні роботи, аеропорт, геоінформаційні системи, лідарне знімання, наземне лазерне сканування, роботизовані комплекси, моніторинг деформацій споруд.

**Sergiy Kryachok, Tetiana Malik, Vadym Belenok, Olena Boiko.
CURRENT STATE OF TOPOGRAPHIC AND GEODETIC SUPPORT
OF AIRPORTS IN UKRAINE**

Publications and regulatory documents concerning the whole complex of topographic and geodetic support of airports in Ukraine: design, construction, operation, repair and reconstruction are considered. The composition of traditional topographic and geodetic works and their quantitative characteristics are given. The application of advanced technologies is considered: aerial survey of the airport territory with the use

of unmanned aerial vehicles, lidar survey of high-altitude obstacles on the airfield territory, observation of subsidence and deformation of airport structures effectively using robotic complexes based on electronic total stations and computer data processing. To provide the initial cartographic material for the repair and reconstruction of airport facilities, it is proposed to use ground laser scanning. According to the results of the patent search, promising developments were identified regarding robotic systems for monitoring hard airfield pavements and a universal system for monitoring deformations of airport structures in real time. It is proposed to implement a conceptual model of the structure of the geographic information system of administrative and economic management of regional airports, taking into account the requirements of world and national experience, international and national standards, modern technology of geospatial data collection.

Keywords: *topographic and geodetic works, airport, geoinformation systems, lidar survey, ground laser scanning, robotic complexes, monitoring of deformations of buildings.*

Постановка проблеми. В Україні, згідно з постановою Кабінету Міністрів, було прийнято Державну цільову програму розвитку аеропортів на період до 2023 року [1]. Метою Програми є задоволення потреб держави у забезпеченні стабільного розвитку авіаційної галузі, приведення інфраструктури авіаційного транспорту у відповідність з міжнародними стандартами, забезпечення набуття Україною статусу транзитної держави з урахуванням її унікального географічного розташування, підвищення ефективності управління державним майном.

У постанові для досягнення мети пропонується забезпечити будівництво, реконструкцію та модернізацію: аеродромів та аеродромних об'єктів; об'єктів інфраструктури аеропортів (пасажирські та вантажні термінальні комплекси, цехи бортового харчування, об'єктів забезпечення авіаційним паливом); об'єктів наземної інфраструктури (ангарні комплекси, авіаційно-технічні бази, навчально-тренажерні центри, профілакторії, адміністративні будівлі, складські об'єкти) [1]. Програма дістала реалізацію у багатьох інфраструктурних проектах.

Існують публікації, які висвітлюють окремі напрямки сучасного стану топографо-геодезичного забезпечення аеропортів. Так робота [2] присвячена впровадженню Світової геодезичної системи WGS-84 в аеропортах України. Проблеми геодезичного контролю положення висотних об'єктів на аеродромах та приаеродромних територіях наведені в публікаціях [3; 4]. Більш повною мірою розглянуті топографо-геодезичні роботи в статті [5]. Тут наведено комплекс робіт — від вишукувань до утилізації споруд та покриттів аеропорту.

Однак, в наведених роботах не у повній мірі розглянуто застосування найсучасніших технології для всього комплексу топографо-геодезичного забезпечення аеропортів.

Мета дослідження. Головною метою цієї роботи є огляд сучасного стану топографо-геодезичного забезпечення аеропортів в Україні з урахуванням передових геодезичних технологій.

Виклад основного матеріалу. Аеропорт має свої стадії життєдіяльності: вишукування та проектування, будівництво, експлуатація, ремонт і реконструкція. На кожному з цих етапів виконується ряд топографо-геодезичних робіт.

На етапі виконання передпроектних робіт для будівництва нового аеродрому завдання вишукувань зводиться до пошуку найбільш вигідного місця розташування аеродрому в заданому районі будівництва, яке б забезпечувало максимальні зручності зон повітряних підходів, розташування злітно-посадкових смуг (ЗПС) та інших споруд для мінімальних обсягів робіт з будівництва та експлуатації. Для цього виконують комплекс геодезичних і інженерно-геологічних робіт, в результаті яких отримують вихідні дані для складання проекту нового летовища або реконструкції існуючого.

Проектування аеродромів виконується в дві стадії: технічний проект і робочі креслення. Вишукування аеродромів в залежності від етапу проектних робіт також поділяються на стадії: попередні вишукування (як правило знімання масштабу 1:5000) і вишукування вже безпосередньо для виконання проектних рішень (знімання в масштабах 1:2000, 1:1000, 1:500) [6].

Головним завданням інженерних вишукувань є вивчення природних і техногенних умов будівництва, освоєння території для складання повної і достовірної картини, що забезпечує якісне проектування і розробку необхідних рекомендацій для підрядної будівельної організації. Ядром комплексу інженерних вишукувань є топографо-геодезичні роботи, в результаті яких виконується збір просторової інформації про кількісні та якісні характеристики місцевості.

Поряд з топографо-геодезичними роботами до складу комплексних інженерних вишукувань входять: інженерно-геологічні, геофізичні, гідрологічні, метеорологічні, екологічні та ін. Вихідними даними цієї частини вишукувань є якісні характеристики території, яка підлягає подальшому перетворенню, які, в свою чергу, вимагають просторово координатної прив'язки. Це завдання вирішується в ході топографо-геодезичних вишукувань. На етапі виконання передпроектних рішень виконується цілий комплекс топографо-геодезичних робіт, таких як:

- повітряне і наземне рекогностування району виконання робіт;
- розвиток планово-висотної основи (разом із закріпленням будівельної сітки);
- геометричне нівелювання по квадратах території майбутнього аеродрому;
- великомасштабне знімання (1:500, 1:1000) передбачуваної ділянки слцжбово-технічної території (СТТ), розташування всього комплексу будівель і споруд аеропорту, включаючи підземні споруди і комунікації;
- знімання території майбутнього аеропорту у масштабах 1:2000;
- виконання спеціальних геодезичних спостережень і закріплення окремих точок на місцевості;
- землевпорядні та кадастрові роботи [7].

За традиційною схемою програма проведення топографо-геодезичних вишукувань включає в себе створення мережі згущення, що спирається на пункти Державної геодезичної мережі, як мережі першого порядку, на яку повинна спиратися

мережу знімальної основи, а з пунктів останньої проводиться топографічне знімання місцевості. Мережі згущення будуються методами полігонометрії 4 класу, 1 або 2 розряду, а мережі знімальної основи створюються шляхом прокладання теодолітних або тахеометрических ходів [6; 7].

За зрівноваженими даними проводиться перенесення знімальних точок для створення ситуаційної частина топографічного плану.

В процесі топографічного знімання використовуються електронні тахеометри. Це є вигідним для подальшої обробки результатів польових вимірювань, оскільки під час зчитування інформації з накопичувача електронного тахеометра крім трьох координат знімальної точці присвоюється приналежність до будь-якого об'єкта, який відповідає певному умовному знаку на топографічному плані. Максимальна ефективність може бути досягнута шляхом вибору відповідного програмного забезпечення, що дозволяє створювати топографічний план в умовних знаках за «сирими» даними, принесеними виконавцем безпосередньо з об'єкту знімання.

Наступний крок в процесі обробки польових вимірювань — побудова цифрової моделі рельєфу і ситуаційного плану.

Для створення топографічних планів території аеропорту наразі можливе використання аерознімання з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) (рис. 1, див. с. 118) [8; 9].

Після опрацювання результатів аерофотознімання отримують ортофотоплани, цифрові моделі місцевості та кінцеві продукти — топографічні плани місцевості (рис. 2, див. с. 118).

Для проектування необхідно також надати інформацію і про геологічну будову території аеропорту за даними інженерно-геологічних вишукувань. Для цього використовують результати опису геологічних викобок — свердловин і шурфів. Горловини цих виробок координуються у плані та по висоті від пунктів геодезичної основи.

Наступним етапом є розробка генерального плану аеропорту. Генеральний план аеропорту проектується на основі ситуаційного

плану місцевості з метою забезпечення зручного транспортного зв'язку між містом і аеропортом, трасування під'їзної автомобільної та залізничної доріг і основних інженерних комунікацій, і повинен відображати розвиток аеропорту на перспективу з виділенням першої черги будівництва [7].

На генеральному плані аеропорту передбачається функціональне зонування території з урахуванням спеціалізації будівель і споруд, технологічних і транспортних зв'язків між ними, безпечного маневрування повітряних суден, архітектурно-планувальних

*a**б*

Рисунок 1 — Аерофотозйомка з БПЛА: *a* — БПЛА на маршруті; *б* — аерофотознімок з БПЛА

*a**б*

Рисунок 2 — Моделі місцевості: *a* — ортофотоплан з горизонталлями; *б* — топографічний план місцевості

вимог, а також вимог санітарно-гігієнічних, пожежної безпеки і черговості будівництва; забезпечення благоустрою ділянки забудови і допустимого рівня шуму, емісії авіаційних двигунів та ризику авіаційних подій; розміщення систем управління повітряним рухом, радіонавігації та посадки з врахуванням безпеки персоналу і місцевого населення від впливу надвисокочастотних опроміненень [7].

Під час проектування генеральних планів аеропортів архітектурно-планувальні рішення СТТ повинні передбачати можливість роботи як однієї, так і декількох ЗПС, а також розташування будівель і споруд з метою забезпечення компактності забудови, скорочення інженерних і транспортних комунікацій, що дозволить знизити експлуатаційні та будівельні витрати.

Рельєф на території аеродрому згідно з проектом описується такими характеристиками, як поздовжній і поперечний ухили. Тому до складу геодезичного супроводу під час будівництва аеродрому входить винесення на місцевість проектних відміток та ухилів від пунктів будівельної сітки під час перетворення рельєфу території аеропорту — згідно з проектом вертикального упорядкування (рис. 3). Роботи виконуються за технологією і точністю технічного нівелювання.

Під час геодезичного забезпечення будівництва основних елементів льотного поля виконується набір операцій з винесенню



а



б

Рисунок 3 — Земляні роботи на території аеропорту:

а — формування рельєфу згідно з проектом вертикального

упорядкування; *б* — винесення на місцевість проектних відміток

об'єктів на місцевість, аналогічній технології будівництва доріг. Тому і будівництвом подібного типу конструкцій займаються, як правило, дорожньо-будівельні організації, що мають у своїй штатній структурі відповідне устаткування та геодезистів з усім необхідним набором інструментів. Геодезисти безперервно забезпечують роботу будівельників. Обчислення проводяться прямо на робочому місці за допомогою калькулятора, або з використанням спеціалізованих програмних продуктів. Наприклад, програмний продукт CREDO ГЕНПЛАН дозволяє заощадити не тільки час на обробку польових вимірювань, але і здійснювати безперервний контроль товщини окремих шарів під час укладання бетону, що, в свою чергу, призводить до економії коштів і часу [9].

Конструкція штучних покриттів має вигляд «листяного пирога». Укладання окремих шарів вимагає виконання геодезистами технічного нівелювання, яке здійснюється від точок закріплення будівельної сітки. Під час влаштуванні окремих шарів конструкції ЗПС, магістральних руліжних доріжок (МРД), використовуються сучасні бетоноукладочні машини (рис. 4, *a*), умови роботи яких забезпечується і геодезичними даними.

Принцип роботи полягає в наступному. Геодезист виставляє віхи і натягує струну точно за відмітками, зазначеними у проєкті. Струни натягуються з двох сторін майбутнього штучного

*a**b*

Рисунок 4 — Роботи з будівництва штучних покриттів аеродрому:
a — укладання бетону; *b* — нарізання температурних швів
(або вирізання бракованих плит)

покриття. За допомогою датчиків, розташованих на бетоноукладочній машині, чутливий елемент регулює висоту укладання бетону. В результаті, при правильному виконанні всіх операцій, досягається точність близько 1–2 мм. Після того як бетон застиг, виконується контрольне знімання поверхні бетону. Якщо окрема плита не має потрібного ухилу або відрізняється від тих вимог, які закладені в проєкті, вона просто вирізається (рис. 4, б), виноситься і заливається знову [9].

Точність укладання арматури, що знаходиться всередині бетону, визначається відповідними нормативними документами і досягає 1–2 см в поздовжньому і поперечному напрямках. Нарізка технологічних і термошвів виконується з винесених в натуру проєктних точок, зазначених геодезистом.

Контроль, перевірка ухилів поверхонь, товщини шарів здійснюються всілякими способами, не тільки з використанням нівелірів і електронних тахеометрів, але і промірами за допомогою рулетки [9].

Процес послідовності будівництва окремих будівель і споруд аеропорту та комплекс геодезичного забезпечення є традиційним для будівництва (рис. 5).

Геодезичні роботи полягають у винесенні на місцевість основних та головних осей споруд, розмічування крайок



a

б

Рисунок 5 — Етапи будівництва споруд аеродрому: *a* — облаштування котловану для терміналу; *б* — спорудження будівлі терміналу

котлованів та передача відміток на їх дно, контроль в плані та по висоті спорудження фахверку, детальні розпланувальні роботи, передача відміток та координат на монтажні горизонти, вивірка вертикальності колон, виконавче знімання.

Однак, аналіз традиційних технологій геодезичного забезпечення спорудження будівель в Україні показує, що їх використання в умовах сучасного будівельного майданчика має ряд недоліків: закріплення на місцевості кожної з осей парою геодезичних пунктів по обидва боки будівлі; частина геодезичних пунктів втрачається в процесі будівництва через переміщення різноманітних механізмів на будівельному майданчику; розпланування осей на монтажних горизонтах (рис. 6) потребує додаткового часу, що уповільнює темпи будівельних робіт, в яких використовуються сучасні передові будівельні технології [10].

Для виконання розпланувальних робіт наразі знайшли застосування електронні тахеометри та GPS приймачі. Завдяки цим

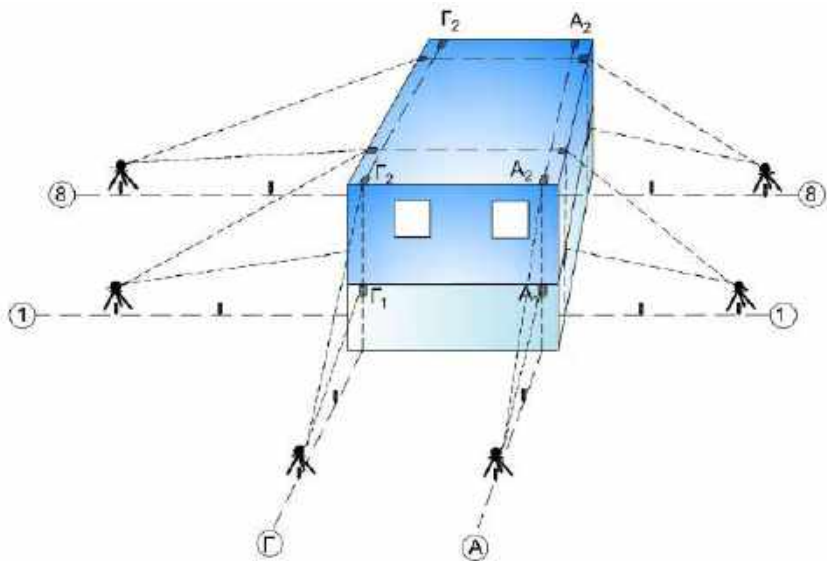


Рисунок 6 — Розпланування осей споруди на монтажних горизонтах

високотехнологічним приладам можна виконувати розпланування безпосередньо будівельних конструкцій без винесення будівельних осей споруди на місцевість. Наразі пропонується в якості планово-висотної опорної основи використовуються наземні орієнтирні пункти та орієнтири, розташовані на навколишніх спорудах. Ці орієнтирні пункти закріплюються за допомогою рефлекторів або плівкових відбивачів (рис. 7). Винесення положення будівлі на місцевість можна виконувати від двох взаємно перпендикулярних базисів, що проходять через центр будівлі без розпланування її осей [10].



Рисунок 7 — Розташування орієнтирного пункту (ОРП) у вигляді плівкового відбивача на фасаді будинку

Роботу доцільно почати з вибору повздовжнього та поперечного базисів, що перетинаються в точці Q під кутом 90° і паралельні до повздовжніх та поперечних основних осей споруди, але зміщені відносно осей так, щоб не перетинати в плані майбутні будівельні конструкції, наприклад, на 1,000 м (рис. 8, див. с. 124).

Для розпланування будівельних елементів способом полярних координат необхідно розрахувати значення кутів α_i та горизонтальних відстаней d_i , користуючись координатами ΔX_i , ΔY_j .

Від найближчого репера опорної геодезичної мережі методом геометричного нівелювання передають відмітку на пункт Q та переобчислюють його відмітку у будівельну висоту. Координати кутів будівельних конструкцій та пунктів 1 і 2 вводять в пам'ять електронного тахеометра та персонального комп'ютера. Оскільки пункти 1 та 2 і пункт, що закріплює точку Q , можуть бути знищені під час земляних робіт на будівельному майданчику,

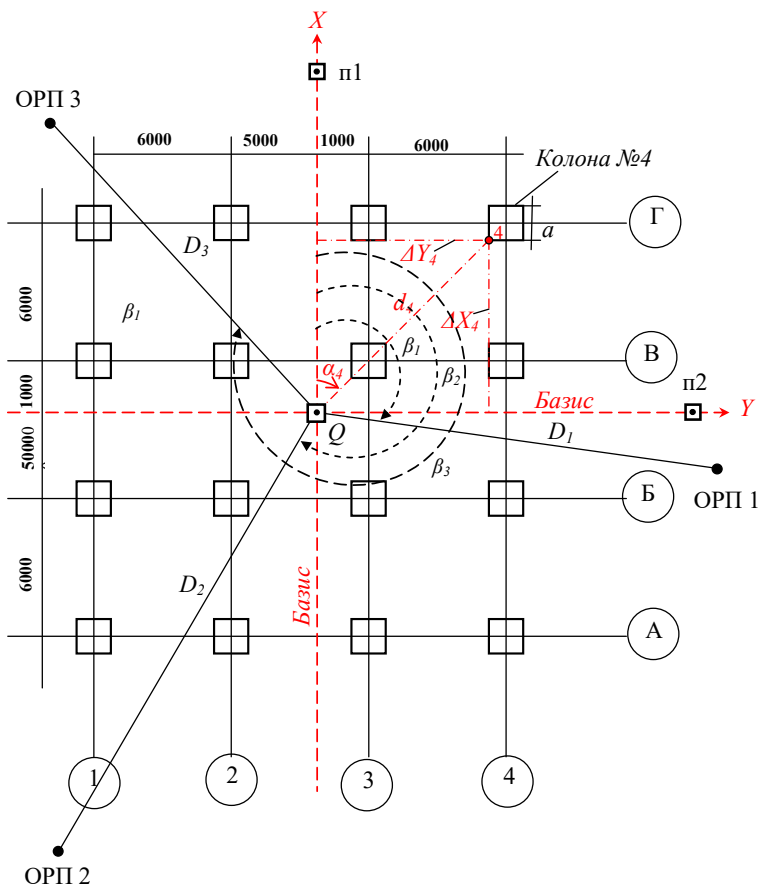


Рисунок 8 — До розпланування будівельних конструкцій в системі координат будівлі

то поза будівельним майданчиком на навколишніх спорудах встановлюють призмові відбивачі, чи наклеюють плівкові відбивачі, утворюючи орієнтирні пункти (ОРП). Сусідні ОРП розташовують у секторах, які не повинен перевищувати 150° у плані.

Використовуючи координати і відмітки ОРП як вихідні, за необхідності, встановлюють планове і висотне положення допоміжних точок спостережень методом просторової лінійної засічки, що зручно під час виконання геодезичних розпланувальних робіт на нульовому рівні та влаштуванні котловану [10].

Для передачі відміток з вихідного на монтажний горизонти доцільно використовувати лазерну рулетку, яка дозволяє виміряти відстань з точністю до 1–2 мм без відбивача. Висотне розпланування на монтажному горизонті краще виконувати лазерним ротаційним нівеліром. Контроль передачі висотних відміток між монтажними горизонтами проводиться електронним тахеометром способом тригонометричного нівелювання при двох кругах. Розпланувальні роботи необхідно виконувати зранку, до появи ударно-вібраційних навантажень від механічних засобів, які присутні на будівельному майданчику, та поки відсутні температурні деформації споруд [10].

Можливе застосовуються супутникових технологій для створення геодезичної основи на монтажному горизонті. Сутність застосування супутникових технологій в загальних рисах зводиться до розташування на пунктах зовнішньої розпланувальної основи будівельного майданчика (рис. 9, див. с. 126) кількох GPS-приймачів [11].

В диференційному режимі методом статички визначаються координати цих пунктів в системі координат WGS-84. Маючи ці значення та координати пунктів в системі координат майданчика, обчислюють ключі для взаємного переходу систем координат. GPS-приймачі встановлюють і на монтажному горизонті та в режимі статички або швидкої статички (за сприятливих умов) визначають координати опорних пунктів щоб досягти точності в плані 5 мм, що задовольняє вимоги нормативних документів з будівництва [12].

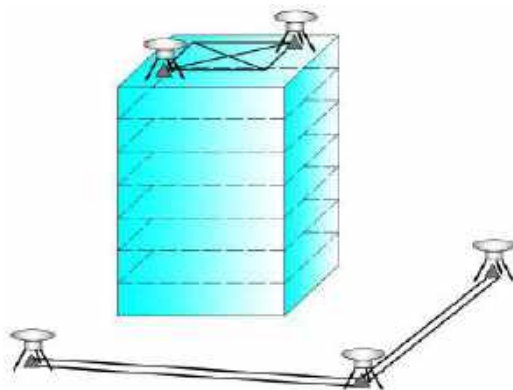


Рисунок 9 — До передачі координат на монтажний горизонт за допомогою супутникових технологій

Далі, встановлюється над однією з них електронний тахеометр, а на іншій — відбивач та виконують розпланування будівельних конструкцій за їх координатами. Можна застосувати електронний тахеометр разом з GPS-приймачем, який встановлюється безпосередньо на тахеометр [10].

Для поліпшення прийому сигналів від супутників необхідно розташувати GPS-приймачі на дахах навколишніх висотних споруд над пунктами, координати яких визначені, наприклад, методом зворотної кутової засічки від пунктів зовнішньої розпланувальної основи [11].

Супровід будівництва ведеться на кожному етапі установки всіх елементів, починаючи з підземних комунікацій. Зокрема, під час закладки в трубах електричних кабелів, геодезистом фіксується їх розташування, глибина закладки, напруга, перерізи. На підставі виконаних вимірів створюються карти підземних комунікацій. Всі колектори, системи дренажу (рис. 10, а (див. с. 125)), які закладаються уздовж аеродрому, ЗПС, мають конкретні проміри в плані та по висоті, оскільки стан ґрунту під ЗПС строго контролюється [9].

Установка світлосигнального обладнання (ССО) на бетонному покритті проводиться до заливки верхнього шару бетону. В цьому

випадку геодезист, згідно проектного рішення, вказує місце розташування ліхтарів ССО і здійснює контроль підведення каналів кабелів до даного пункту (рис. 10, б). Після укладання бетону за відомими координатами виконується свердління отворів для ліхтарів ССО [9].



a

b

Рисунок 10 — Прокладання підземних комунікацій: *a* — укладання колектору системи дренажу; *b* — встановлення ліхтарів ССО

Всі роботи під час будівництва ведуться під постійним контролем інженера-геодезиста, який забезпечує геометричні параметри території аеропорту згідно з проектною документацією та підписує відповідні контрольно-вимірювальні документи.

В процесі експлуатації аеродрому геодезичні роботи менш інтенсивні. Геодезичний супровід полягає в періодичному визначенні для експлуатаційних служб необхідну інформацію з оцінки нерівностей поверхні аеродромних покриттів, про навантаження і несучу здатність поверхонь, визначаються висоти аеронавігаційних орієнтирів і перешкод на льотному полі і приаеродромній території [9]. Врахування висоти аеронавігаційних орієнтирів і перешкод є необхідною умовою для безпечного функціонування аеропорту та є міжнародно визнаною нормою [13].

Традиційно висоти аеронавігаційних орієнтирів і перешкод визначаються методом тригонометричного нівелювання з пунктів геодезичної основи [3; 4].

Наразі розроблено нову методику сумісного визначення висот перешкод та площ земельних ділянок навколо цих перешкод [14].

Для визначення висоти аеронавігаційних орієнтирів і перешкод може бути використана високотехнологічна методика лідарного знімання з використанням БПЛА чи легких літальних апаратів (рис. 11) [15; 16].

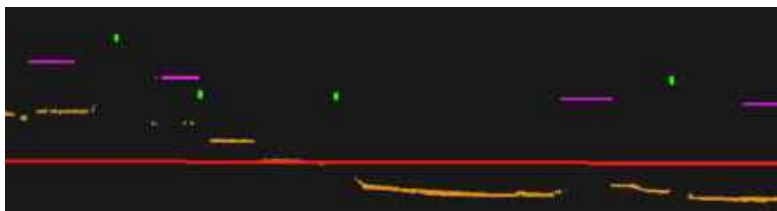
*а**б*

Рисунок 11 — Лідарне знімання висотних перешкод: *а* — знімання перешкод; *б* — визначення місцевих максимумів як найвищих точок об'єктів (перешкод)

В процесі експлуатації покриттів конструкцій аеродрому здійснюються фізичний, температурний і хімічний впливу на їх поверхню, внаслідок чого відбувається переміщення плит покриттів і їх корозія. Для вимірювання нерівностей поверхні покриттів застосовують високоточні нівеліри і спеціальні шкалові лінійки з міліметровою шкалою. Для оцінки рівності поверхні штучних ЗПС виконується коротко крокове нівелювання поперечників (з кроком 5 м) [17; 18]. Крім того, виконуються оцінка геометричних характеристик мікрорельєфу покриттів: ухилів

та їх різниць на певній лінійній базі, просвітів під триметровою рейкою і їх розподілу в заданих діапазонах, уступів між плитами та порівняння їх значень з нормативними даними [19].

Наявність такої інформації дозволяє виявити ділянки штучного покриття ЗПС з незадовільною рівністю та дефектами і своєчасно включити їх в плани поточного або капітального ремонту.

Наразі для виявлення дефектів аеродромних покриттів разом з візуальним їх оглядом можна використовувати експрес оцінку їх стану з використанням БПЛА. В той же час аеро-геодезичні методи візуалізації та координування стрімко удосконалюються. Ведуться дослідження з використанням лідарного знімання з БПЛА для побудови профілів покриттів та визначення нерівностей ЗПС та РД [16; 17].

Крім того з'являються перспективні пропозиції на рівні патентів на винаходу з використанням мобільних роботизованих комплексів для моніторингу стану аеродромних покриттів. Так, згідно з [20] запропоновано технічне рішення автоматизованої системи геодезичного моніторингу ЗПС (АСГМ ЗПС). До складу АСГМ ЗПС входить підсистема керування, розміщена на центральній станції керування технічними системами аеропорту, та мобільна частина. До складу підсистема керування входять: блоку керування; блок обробки та зберігання інформації; блок програм, що містить програми з пошуку та розпізнання образів — для ідентифікації візирних цілей за їх зображеннями; блок геоінформаційної системи, де містяться дані про планові координати точок нівелювання та реперів висотної підготовки; блоку кодування інформації — для усунення несанкціонованого доступу в роботу АСГМ ЗПС; блок прийому та передачі радіосигналів до мобільної частини. Склад мобільної частини наведено на рис. 12 (див. с. 130).

Мобільні нівелювальники містять наступні блоки: прийому та передачі радіосигналів; кодування сигналів; електронний блок керування ходовою частиною; світловіддаємих вимірів; ультразвукової локації; приймача GPS; повороту ОЕП, візирної цілі та блоку світловіддаємих вимірів; ОЕП; блок формування сигналів. Комплект блоків мобільної нівелірної рейки: прийому та передачі радіосигналів; кодування сигналів; електронний блок

керування ходовою частиною; ультразвукової локації; приймача GPS; блок повороту візирної цілі.

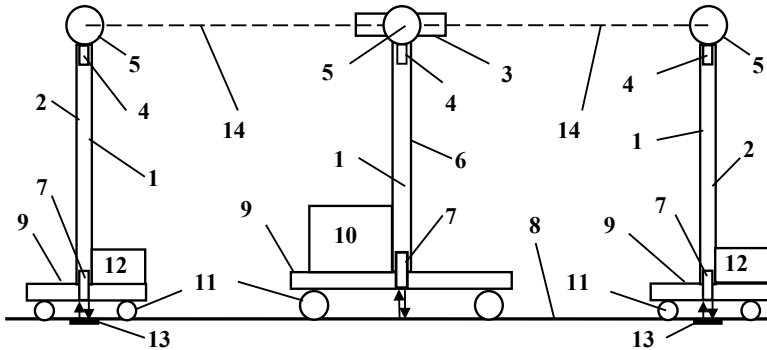


Рисунок 12 — Склад мобільної частини автоматизованої системи геодезичного моніторингу ЗПС: 1 — вертикальна стійка; 2 — мобільна нівелірна рейка (МНР); 3 — оптико-електронний прилад (ОЕП) та світловіддалемірні блоки; 4 — механізм повороту ОЕП 9 та візирної цілі 5; 6 — мобільний нівелювальник (МН); 7 — ультразвуковий датчик перевищень основи над поверхнею 8, яка нівелюється; 9 — основа; 10 — бокс з комплектом блоків МН; 11 — ходова частина; 12 — комплект блоків МНР; 13 — репер висотної підготовки (закладні деталі у покриття); 14 — візирний промінь

Попередньо необхідно виконати підготовчі роботи [21]. У тверде покриття ЗПС чи РД закладають металеві закладні елементи на рівні покриття та виконують їх координування, наприклад, GPS-позиціонуванням в режимі реального часу та виконують точне нівелювання. Планові та висотні координати закладних елементів вводяться до блоку обробки та зберігання інформації підсистеми керування. Вимірюються відстані l_{N_i} по вертикальним стійкам від центрів візирних цілей до чутливої площини ультразвукових здавачів МНР та l — довжина вертикальної стійки МН від прийомно-передавальної площини ультразвукового датчика до центральної точки оптико-електронного приладу. Мобільним нівелювальникам (щонайменше у кількості трьох) та мобільним

нівелірним рейкам (щонайменше у кількості чотирьох) присвоюють ідентифікаційні коди.

Для виконання нівелювання МНР та МР доставляються з пункту зберігання до торця ЗПС. За радіокомандами з підсистеми керування МНР: №№ 1–4 розміщуються над реперами висотної підготовки, МН № 2 та № 3 у створі відповідних МНР, а МН № 1 у створі Мн № 2 та МН № 3 (рис. 13). За радіокомандами з підсистеми керування виконується переміщення МН № 1 у створі МН № 2 та № 3 з заданим кроком та вимірювання відстаней Δl_{N_1} , Δl_{N_2} від поверхні ЗПС до приймально-передавальних площин ультразвукових давачів. Вимірювальна інформація від МНР та МН надходить по каналу радіозв'язку до підсистеми керування для опрацювання результатів. Обчислення відмітки площини ЗПС під ультразвуковим давачем перевищень виконують за формулою:

$$H = \frac{1}{2} \left[H_{M_1} + H_{M_2} - \frac{(S_1 - S_2)(H_{M_1} - H_{M_2})}{S_1 + S_2} \right] - \frac{1}{2f} (S_1 a_1 + S_2 a_2) - l - \Delta l,$$

де $\left. \begin{array}{l} H_{M_1} = H_{R_1} + l_{N_1} + \Delta l_{N_1}, \\ H_{M_2} = H_{R_2} + l_{N_2} + \Delta l_{N_2}, \end{array} \right\}$ — відмітки висот центрів візирних цілей

МНР № 1 та МНР № 2; H_{R_1} і H_{R_2} — відмітки опорних реперів R_1 і R_2 ; l_{N_1} і l_{N_2} — відстані по вертикальним стійкам від центрів візирних цілей до чутливої площини ультразвукових здавачів МНР № 1 та МНР № 2; Δl_{N_1} , Δl_{N_2} — відстані від поверхні ЗПС до приймально-передавальних площин ультразвукового давача МНР № 1 та МНР № 2; f — фокусні відстані цифрових камер оптико-електронного приладу; S_1 і S_2 — горизонтальні відстані, що вимірюються від оптико-електронного приладу до центрів візирних цілей МНР № 1 та МНР № 2; a_1 і a_2 — відліки в долях пікселів на чутливих елементах подвійної матриці оптико-електронного приладу; l — довжина вертикальної стійки МН від приймально-передавальної площини ультразвукового давача до центральної точки оптико-електронного приладу; Δl — відстань від поверхні ЗПС до приймально-передавальної площини ультразвукового давача МН.

Запропонована система геодезичного моніторингу злітно-посадкової смуги дозволяє отримати значення висот точок в автоматичному режимі на заданій поверхні з регульованим кроком сканування. Така система ефективна для нівелювання великих за площею та протяжністю поверхонь злітно-посадкових смуг, ґрунтових стартів, руліжних доріжок, перонів аеропортів та дозволяє швидко визначити відмітки в режимі дистанційного ГІС/GPS керування комплексом мобільних нівелювальних роботів.

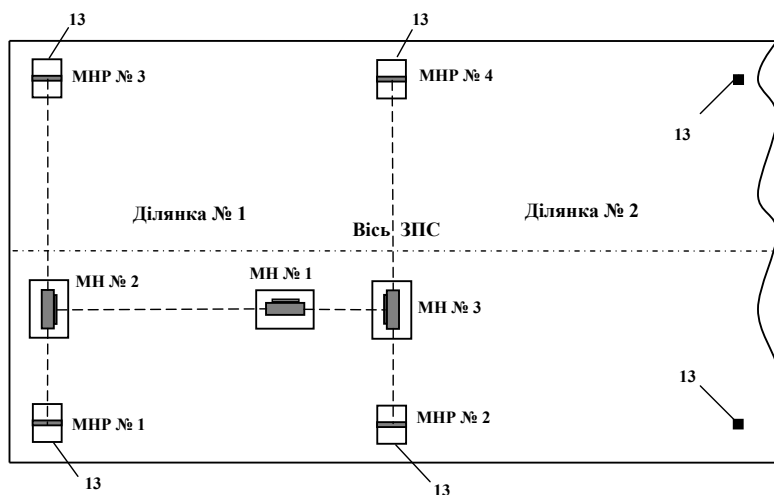


Рисунок 13 — До технології нівелювання за допомогою МНР та МН на ділянці ЗПС

З метою оцінки фактичної несучої здатності штучних покриттів аеродрому виконуються їх натурні випробування статичним навантаженням розрахунковим типом повітряного судна виміром пружних прогинів. Вимірювання вертикальних переміщень конструкцій покриттів виконуються з використанням прецизійних нівелірів і спеціальних шкальних лінійок. За результатами виконаних випробувань встановлюється допустиме навантаження на стандартну опору повітряного судна і відповідне їй значення класифікаційного числа покриття PCN — нормативний параметр

Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО), яке виражає несучу спроможність штучного покриття ЗПС [22].

Перевірка відповідності характеристик льотного поля і приаеродромної території вимогам законодавства України про цивільну авіацію дозволяє отримати або підтвердити Сертифікат відповідності аеродрому [23].

Важливим елементом геодезичного забезпечення експлуатації аеродромів є спостереження за деформаціями та осіданням його споруд. Для цього проводиться високоточне геометричне нівелювання осадкових марок, закріплених на спорудах аеропорту.

Для спостереження за осіданнями та деформаціями споруд аеропорту наразі є ефективним періодичне використання роботизованих комплексів на основі електронних тахеометрів та комп'ютерного опрацювання даних (рис. 14).



Рисунок 14 — Спостереження за креном та деформаціями споруд аеропорту: *а* — КДП аеропорту; *б* — вежа для спостереження з електронним тахеометром в середині

Наразі розроблено концепцію вбудованого автоматизованого інженерно-геодезичного контролю деформацій конструкцій інженерних споруд, яка направлена на досягнення нового рівня точності інженерно-геодезичного контролю і забезпечення техногенної безпеки. Концепція включає в себе вирішення комплексу задач [24; 25]:

- наскрізний геодезичний контроль положення елементів повного об'єму споруди з підвищеною точністю;

- автоматизований контроль елементів інженерної споруди в режимі реального часу, в тому числі в обмежених або недоступних для візуальних вимірювань місцях;
- контроль техногенної безпеки споруди, передбачення моменту аварійної ситуації, попередження про наближення критичнонебезпечного стану (моменту) інженерної споруди в реальному масштабі часу з точним позначенням певної ділянки;
- запобігання людських жертв, збереження цінного обладнання, цінностей за виникнення аварійної ситуації.

Один із варіантів автоматизованої системи моніторингу деформацій за принципом її дії може здійснювати просторовий контроль деформацій інженерної споруди за допомогою системи горизонтальних і вертикальних створних ліній системи моніторингу з контролем контурів фундаменту, перекриття, каркасу та даху.

В споруді закладають просторову мережу (рис. 15, див. с. 135) горизонтальних і вертикальних подвійних фотоелектричних ланцюгів, які передають координати геодезичних марок, розташованих на фундаменті, на деформаційні марки, що розташовані на даху по вертикальним створним лініям системи моніторингу деформацій, що йдуть по каркасу споруди. Горизонтальні і вертикальні створні лінії системи моніторингу деформацій пов'язують за допомогою трьохканальних оптико-електронних приладів з деформаційними марками, направляючи їх осі по трьох напрямках осей двох суміжних горизонтальних і вертикальних створних ліній системи моніторингу в кутах просторової фігури [24; 25].

Геодезичні знаки, що розташовані на фундаменті, прив'язують за допомогою окремих горизонтальних створних ліній системи моніторингу деформацій до стабільних опорних геодезичних марок на місцевості поза зоною впливу деформації споруди на положення опорних знаків.

При цьому по вимірним відхиленням деформаційних марок виконують контроль, визначають динаміку зміни положення марок, порівнюють з допустимими величинами деформації, передають цю інформацію через електричні блоки комутації,

а оброблені дані по каналу зв'язку передають на центральний пульт для прийняття рішення. Всі вимірювання виконують в умовній системі координат, однією з осей якої є напрямок візирних променів, з послідовним приведенням результатів до єдиної системи координат з врахуванням просторової взаємної орієнтації візирних променів [26].

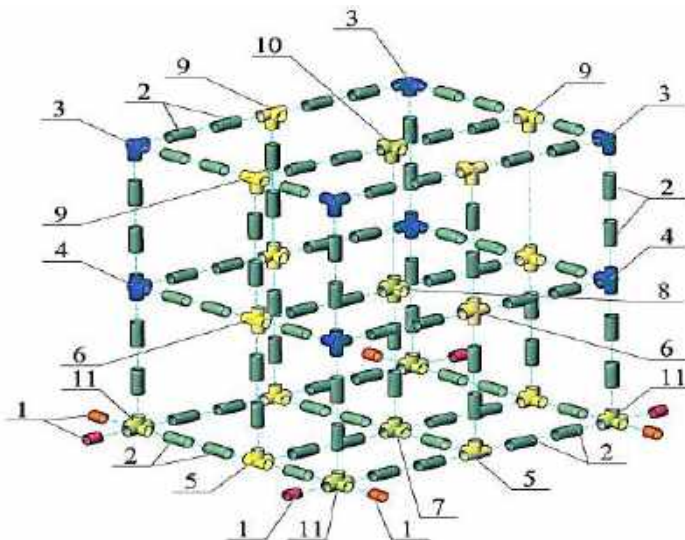


Рисунок 15 — Схема просторового геодезичного контролю інженерної споруди в цілому автоматизованою системою системи моніторингу деформацій: 1 — опорна деформаційна марка; 2 — двоканальний оптико-електронний прилад; 3–11 — багатоканальні оптико-електронні прилади

Серед робіт також слід відзначити підготовку правовстановлюючих документів на земельні ділянки аеропорту і постановку їх на кадастровий облік, створення електронного плану аеропорту для диспетчеризації повітряних суден і транспортних потоків на території аеропорту, розробку тривимірної моделі приаеродромної території для управління повітряним рухом, розрахунок схем маневрування повітряних суден, екологічну оцінку впливу

авіації на навколишнє середовище, створення банку геопросторових даних та геоінформаційної системи (ГІС) аеропорту [9].

Наразі розроблено концептуальної моделі структури геоінформаційної системи ГІС адміністративно-економічного управління регіональними аеропортами з урахуванням вимог світового і національного досвіду, міжнародні та національні стандарти, сучасні технології збору геопросторових даних. Дослідження спрямовані на структурування всіх споруд та об'єктів аеровокзального комплексу та виділення компонентів за місцем розташування та призначенням. Виконана розробка узагальненої схеми напрямів використання адміністративно-господарських ГІС в аеропортах на основі аналізу світового та вітчизняного досвіду; встановлення необхідності використання міжнародних та національних стандартів серії «Географічна інформація / Геоматика» при створенні ГІС аеропорту. Виконана розробка типової схеми складу бази даних Єдиної цифрової топографічної бази аеропорту, базових та профільних геоінформаційних ресурсів для адміністративно-економічної ГІС. Розроблена концептуальна модель структури та функціонального призначення ГІС адміністративно-господарського управління аеропортом. Розроблена концептуальна модель відображає основні виробничі процеси та потреби аеропортів та заснована на базі даних Digital Numeral Topographic Framework. Вона є повною та несуперечливою моделлю взаємозв'язку між адміністративно-економічними потребами аеропортів та функціональністю сучасних геоінформаційних систем для ефективної експлуатації об'єктів, споруд і засобів комунікацій, аналізу поточного стану, моніторингу та прийняття управлінських рішень [27; 28].

Для реалізації концепції безпеки польотів та інтегрування авіаційної України у Світовий простір необхідне переведення навігаційного забезпечення аеродрому на сучасний рівень, відповідно до рекомендаціям ІКАО [29; 30]. Наприклад, просторово-орієнтовані дані використовуються для системи раннього попередження близькості землі (рис. 16, див. с. 137) [9].

Це вимагає проведення геодезичної зйомки аеронавігаційних орієнтирів у Всесвітній геодезичній системі координат WGS-84

з використанням GPS-технологій (рис. 17, а (див. с. 138)). У вертикальній площині для цілей аеронавігації в якості системи відліку використовується прийнятий за базу середній рівень моря (MSL). На додаток до значень перевищення відносно MSL (геоїда) конкретних знімальних наземних позицій для цих же позицій додається інформація про хвилю геоїда (положення геоїда відносно поверхні еліпсоїда WGS-84) для території аеродрому [31]. Для визначення положення геоїда на території аеропорту виконуються гравіметричні вимірювання.

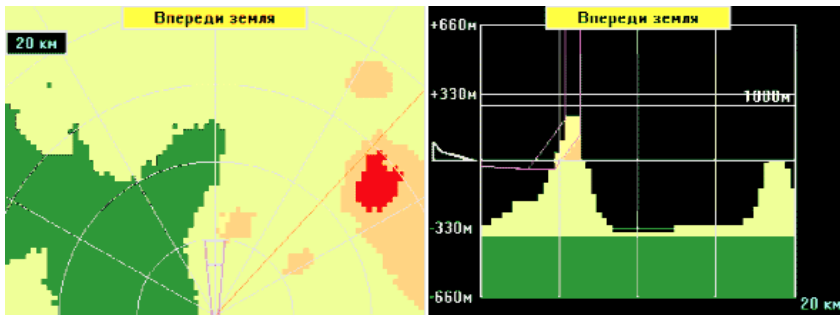


Рисунок 16 — Відображення інформації на моніторі системи раннього попередження близькості землі

Ремонт і реконструкція, як правило, проходять під час роботи аеропорту. Тому особливістю виконання топографо-геодезичних робіт на цьому етапі є фактор діючого підприємства: топогеодезичні роботи можуть виконуватися тільки під час відсутності польотів — найчастіше короткочасними періодами і на обмежених ділянках.

В багатьох країнах для будівництва, реконструкції та модернізації інфраструктурних об'єктів останніми роками використовуються геоінформаційні технології: для збору вихідних геопросторових даних; для проведення територіального планування; для проектування будівель і споруд та їх інформаційного моделювання (ВІМ-технології); для створення геоінформаційних систем управління та експлуатації (ГІС-системи) [32].

У процесі виконання поточного ремонту окремих елементів покриттів або комунікацій проводяться топографо-геодезичні роботи з винесення на місцевість та контрольно-виконавчі зйомки. Для знімання сторуд аеропорту наразі може бути застосоване лазерне сканування (рис. 17, б).



а

б

Рисунок 17 — Застосування сучасних геодезичних технологій:
а — GPS-знімання на території аеропорту; б — результат лазерного сканування споруди аеровокзалу у вигляді плану

Особливо ефективно використання лазерних сканерів для побудови планів фасадів будівель з метою їх реконструкції. Адже точність знімання сканерами така, що дозволяє відобразити найменші подробиці архітектурних деталей [33].

Висновки. Розглянуто особливості топографо-геодезичного забезпечення проектування, будівництва, експлуатації, ремонту та реконструкції аеропортів в Україні. Зроблено наголос на необхідність впровадження у відповідних нормативних документах і практику топографо-геодезичних робіт передових технологій: аерознімання території аеропорту з використанням безпілотних літальних апаратів, лідарного знімання висотних перешкод на приаеродромній території. Для спостереження за осіданнями та деформаціями споруд аеропорту ефективним є використання роботизованих комплексів на основі електронних тахеометрів та комп'ютерному опрацюванню даних. Для забезпечення

вихідним картографічним матеріалом заходів з ремонту і реконструкції споруд аеропорту запропоновано використовувати наземне лазерне сканування. За результатами патентного пошуку виявлено перспективні розробки стосовно роботизованих систем моніторингу твердих аеродромних покриттів та універсальної системи моніторингу деформацій споруд аеропорту, яка дозволяє визначати деформації в реальному часі в цілому: фундаменту, перекриття, каркасу та даху. Запропоновано для реалізації концептуальної моделі структури геоінформаційної системи ГІС адміністративно-господарського управління регіональними аеропортами з урахуванням вимог світового і національного досвіду, міжнародних та національні стандартів, сучасної технології збору геопросторових даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про затвердження Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року : Постанова Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 № 126. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/126-2016-p#Text> (дата звернення: 17.11.2022).
2. Кучер О. В., Абрикосов О. А., Марченко Д. А. Геодезическая основа Международного аэропорта Борисполь-2 в системе ITRF97. Наук.-техн. симпоз. Геомониторинг — 99. Л., 1999. С. 2–9.
3. Данкевич А. Ф., Марков С. Ю., Бабченко В. А. Проблемы геодезического контроля положения высотных объектов на аэродромах та приаэродромних територіях. *Вісн. геодез. та картограф.* 2005. № 1. С. 4–7.
4. Данкевич А. Ф., Золотоперий В. М., Крячок С. Д. Аналіз випадків визначення планових координат при контролі положення висотних об'єктів на аеродромних та приаеродромних територіях : матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Авіа — 2013». Київ : НАУ. Т. 5. С. 30.50– 30.54.
5. Городецкий С. И. Топографо-геодезическая жизнь аэродрома. *Автоматизированные технологии изысканий и проектирования.* 2007. № 2. С. 53–60.
6. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000–1:500. ГКНТА-2.04-02-98. Київ : ГУГК та К, 1992. 155 с.
7. ДБН А.2.1-1-2014. Державні будівельні норми. Інженерні вишукування для будівництва. Київ : Держстандарт України, 2014. 126 с.

8. Аерофотозйомка в геодезії: ортофотоплан. URL: <https://www.geospektr-7.com.ua/blog/ajerofotosemka-v-geodezii-ortofotop/> (дата звернення: 20.11.2022).
9. Крячок С. Д. Топографо-геодезичне забезпечення аеропортів. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»*. 2018. № 1 (11). С. 239–251.
10. Novomlynets, O., Tereshchuk, O., Kryachok S., Belenok V., Shaty, H., Gladilin, V. Modern Technologies of Geodetic Support of Planning Works in High-Rise Construction. *Geodetski list*. 2022. Vol. 76 (99), no. 1. P. 71–86. URL: <https://hrcak.srce.hr/en/clanak/398796> (дата звернення: 05.11.2022).
11. Шульц Р. В., Медведський Ю. В. Розробка і дослідження методики створення геодезичної основи на монтажному горизонті при висотному будівництві. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/9217/200934-543-546.pdf?sequence=1> (дата звернення: 22.10.2022).
12. ДБН В.2.2-41:2019 «Висотні будівлі. Основні положення». URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/10/V2241-2019.pdf> (дата звернення: 20.11.2022).
13. Крячок С., Бойко О., Мамонтова Л. Врахування вимог ІКАО стосовно місцевості та перешкод в районах аеропорту для їх картографування та використання у геоінформаційних системах. *Технічні науки та технології* : науковий журнал. Черніг. нац. технол. ун-т. Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2020. № 3 (21). С. 301–309.
14. Kryachok, S. D., Belenok, V. Yu., Boyko, O. L. Definition of coordinates and heights of obstacles by polar method : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2019», 21–23 квітня 2019 р. Київ : НАУ, 2019. С. 23.8–23.11.
15. Крячок С. Д., Мамонтова Л. С. Лідарне знімання ландшафту та перешкод в районах аеропорту : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 10–12 травня 2018 р., м. Чернігів. Том 2. С. 146–148.
16. Крячок С. Д., Бойко О. Л., Прусов Д. Е. Застосування безпілотних літальних апаратів для лідарної зйомки території аеропорту : матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 26–27 травня 2021 р., м. Чернігів. С. 110–111.
17. Крячок С. Д. Сучасний стан геодезичного моніторингу аеродромних покриттів в Україні. *Технічні науки та технології* : науковий журнал.

- Черніг. нац. технол. ун-т. Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2020. № 1 (19). С. 305–314.
18. Крячок С. Д., Мамонтова Л. С. Геодезичне забезпечення визначення нерівностей аеродромних покриттів. Сучасні технології землеустрою, кадастру та управління земельними ресурсами : збірник матеріалів шостої Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених, 12–13 березня 2020 р., м. Київ, НАУ, Україна. Київ, 2020. С. 41–42.
 19. Про затвердження Інструкції з експлуатації аеродромів державної авіації України : Наказ Міністерства оборони України від 01.07.2013 № 441 (Із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства оборони № 348 від 23.09.2020). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1229-13/conv/print> (дата звернення: 18.10.2022).
 20. Бурачек В. Г., Крячок С. Д., Малік Т. М., Мамонтова Л. С., Німих В. П. Автоматизована система геодезичного моніторингу злітно-посадкової смуги : патент № 120808 Україна : G01C 5/02, G01C 15/06 ; заявл. 15.08.2018 ; опубл. 10.02.20, Бюл. № 3. 8 с.
 21. Бурачек В. Г., Крячок С. Д., Малік Т. М., Німих В. П. Спосіб автоматизованого нівелювання злітно-посадкової смуги : патент № 122360 Україна : G01C 5/00 ; заявл. 15.08.2018 ; опубл. 26.10.20, Бюл. № 20. 7 с.
 22. Про затвердження Правил визначення придатності до експлуатації аеродромів та злітно-посадкових майданчиків державної авіації України : Наказ Міністерства оборони України від 17.11.2014 № 811. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1571-14> (дата звернення: 20.10.2022).
 23. Сертифікаційні вимоги до аеродромів України : Наказ Державіа-служби України № 1346. Чинний від 22.09.2020. URL: <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2020/09/Nakaz-1346-vid-22.09.2020.pdf> (дата звернення: 15.11.2022).
 24. Малік Т., Бурачек В., Брик Я. Метод автоматичного геодезичного суцільного контролю деформацій інженерних споруд. *Технічні науки та технології* : науковий журнал. Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т., 2016. № 1 (3). С. 145–151.
 25. Патент України на винахід № 115261, МПК (2017.01) G01C 11/00 G02B 13/00 Спосіб автоматичного тотального геодезичного контролю деформацій інженерних споруд / заявники та патентовласники Я. П. Брик, В. Г. Бурачек, Т. М. Малік. № а 2015 09362 ; заявл. 29.09.2015 ; опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19/2017.
 26. Дослідження шляхів побудови оптико-електронних аерофото-знімальних систем для застосування на безпілотних носіях : звіт

- про НДР (заключ.), № ДР 0113U001451. Національна академія наук України ДП «Науково-технічний центр новітніх технологій Національної академії наук України», ПВНЗ Університет новітніх технологій; керівник роботи В. Г. Бурачек; виконавці: С. В. Бабак, В. Г. Бурачек, І. М. Коберник, П. Д. Крельштейн, Т. М. Малік. Київ, 2013. 214 с.
27. Крячок С. Д., Бойко О. Л., Ляшенко Д. О. Використання геоінформаційних технологій у забезпеченні адміністративно-господарського управління аеропортами та їх землеустрою : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Виклики сучасного землеустрою: дигіталізація, технологічні зміни та економічні трансформації», 16–17 вересня 2021 р., м. Київ, НУБіП. С. 128–131.
 28. Prusov D., Voiko O. The conceptual model of structure and functional purpose of the geoinformation system for administrative and economic management of regional airport. *Geodesy and Cartography*. ISSN 2029-6991. eISSN 2029-7009, 2022. Volume 48, Issue 2. P. 46–55. URL: <https://doi.org/10.3846/gac.2022.12570>
 29. ICAO Document: Terrain and Obstacle Data Manual. EUROCONTROL. (October 2011). URL: <http://www.eurocontrol.int/publications/terrain-and-obstacle-data-tod-manual> (дата звернення: 11.11.2022).
 30. Службы аэронавигационной информации. Приложение 15 к Конвенции о международной гражданской авиации. Международная организация гражданской авиации. Издание четырнадцатое. Июль 2013 года. URL: https://www.vip-class.ru/userfiles/file/biblioteka/attach_15.pdf (дата звернення: 10.10.2022).
 31. ICAO Document 9674: World Geodetic System 1984 (WGS-84) Manual. URL: <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ECARAIM/REF08-Doc9674.pdf> (дата звернення: 11.10.2022).
 32. Бойко О. Л., Ляшенко Д. О., Горб О. І. Розробка концептуальної моделі збору геопросторових даних аеропортів методами лазерного сканування для створення ГІС. *Містобудування та територіальне планування* : наук.-техн. збірник. Київ : КНУБА, 2019. Вип. 71. С. 60–71.
 33. Іванов П. С. Наземне лазерне сканування для вирішення проблем міського планування : збірник наукових праць «Часопис картографії». Вип. 1 (17). Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Київ, 2017. С. 20–29.

REFERENCES

1. On the approval of the State target program for the development of airports for the period up to 2023 : Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated February 24, 2016 No. 126. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/126-2016-п#Text> (access date: 17.11.2022).
2. Kucher, O. V., Abrikosov, O. A., Marchenko, D. A. Geodetic base of the Boryspil-2 International Airport in the ITRF97 system. Scientific and technical. symposium Geomonitoring — 99. L., 1999. P. 2–9.
3. Dankevich A. F., Markov, S. Yu., Babchenko, V. A. Problems of geodetic control of the position of high-altitude objects on airfields and near-airfield territories. *Visn. geodesy and cartographer*. 2005. № 1. P. 4–7.
4. Dankevich, A. F., Zolotopery, V. M., Krachok, S. D. Analysis of cases of determination of planned coordinates during control of the position of high-altitude objects on airfield and near-airfield territories : materials of the International scientific and practical conference “Avia — 2013”. Kyiv : NAU. Volume 5. P. 30.50–30.54.
5. Horodetskyi, S. I. Topographic and geodesic life of the airfield. *Automated technologies of research and design*. 2007. No. 2. P. 53–60.
6. Instructions for topographic surveying on a scale of 1:5000–1:500. GKNTA-2.04-02-98. Kyiv : GUGK and K, 1992. 155 p.
7. DBN A.2.1-1-2014. State building regulations. Engineering searches for construction. Kyiv : Derzhstandard of Ukraine, 2014. 126 p.
8. Aerial photography in geodesy: orthophoto plan. URL: <http://www.geospektr-7.com.ua/blog/ajerofotosemka-v-geodezii-ortofotop/> (access date: 20.11.2022).
9. Kryachok S. D. Topographic and geodetic support of airports. *Bulletin of the Chernihiv State University of Technology. Series “Technical Sciences”*. 2018. No. 1 (11). P. 239–251.
10. Novomlynets, O., Tereshchuk, O., Kryachok S., Belenok V., Shatyi, H., Gladilin, V. Modern Technologies of Geodetic Support of Planning Works in High-Rise Construction. *Geodetski list*, 2022. Vol. 76 (99), no. 1. P. 71–86. URL: <https://hrcak.srce.hr/en/clanak/398796> (access date: 05.11.2022).
11. Shults, R. V., Medvedskyi, Yu.V. Development and research of the method of creating a geodetic base on the installation horizon during high-rise construction. URL: <http://repository.knuba.edu.ua/bitstream/handle/987654321/9217/200934-543-546.pdf?sequence=1> (access date: 22.10.2022).
12. DBN V.2.2-41:2019 “High-rise buildings. Main provisions”. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/10/V2241-2019.pdf> (access date: 20.11.2022).

13. Kryachok, S., Boyko, O., Mamontova, L. Consideration of ICAO requirements regarding terrain and obstacles in airport areas for their mapping and use in geographic information systems. *Technical sciences and technologies* : scientific journal, Chernihiv. national technology Univ. Chernihiv : Chernihiv. national technology University, 2020. No. 3 (21). P. 301–309.
14. Kryachok, S. D., Belenok, V. Yu., Boyko, O. L. Definition of coordinates and heights of obstacles by polar method : materials of the International scientific and technical conference “AVIA-2019”, April 21–23, 2019. Kyiv : NAU. P. 23.8–23.11;
15. Kryachok, S. D., Mamontova, L. S. Lidar surveying of the landscape and obstacles in the airport areas : materials of the 8th international academic and practical conference “Complex quality assurance of technological processes and systems”, May 10–12, 2018, Chernihiv. Vol. 2. P. 146–148.
16. Kryachok, S. D., Boyko, O. L., Prusov, D. E. Use of unmanned aerial vehicles for lidar surveying of the airport territory : Materials of the XI International scientific and practical conference “Complex quality assurance of technological processes and systems”, May 26–27, 2021, Chernihiv. P. 110–111.
17. Kryachok, S. D. Current state of geodetic monitoring of airfield surfaces in Ukraine. *Technical sciences and technologies* : scientific journal, Chernihiv. national technology Univ. Chernihiv : Chernihiv. national technology University, 2020. No. 1 (19). P. 305–314.
18. Kryachok, S. D., Mamontova, L. S. Geodetic support for determination of unevenness of airfield surfaces. Modern technologies of land management, cadastre and management of land resources : collection of materials of the sixth All-Ukrainian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists, March 12–13, 2020, Kyiv, NAU, Ukraine. Kyiv, 2020. P. 41–42.
19. On the approval of the Instructions for the operation of airfields of the state aviation of Ukraine : Order of the Ministry of Defense of Ukraine dated 01.07.2013 No. 441 (Amended in accordance with the Order of the Ministry of Defense No. 348 of 23.09.2020). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1229-13/conv/print> (access date: 18.10.2022).
20. Burachek, V. G., Kryachok, S. D., Malik, T. M., Mamontova, L. S., Nymykh, V. P. Automated runway geodetic monitoring system : Patent No. 120808 of Ukraine : G01C 5/02, G01C 15/06 ; Application. 15.08.2018 ; Publ. 10.02.20, Bul. No. 3. 8 p.
21. Burachek, V. G., Kryachok, S. D., Malik, T. M., Nymykh, V. P. The method of automated runway leveling : Patent No. 122360 of Ukraine : G01C 5/00 ; Application. 15.08.2018 ; Publ. 26.10.20, Bul. No. 20. 7 p.

22. On the approval of the Rules for determining the suitability for operation of airfields and airstrips of the state aviation of Ukraine : Order of the Ministry of Defense of Ukraine dated November 17, 2014 No. 811. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1571-14> (access date: 20.10.2022).
23. Certification requirements for airfields of Ukraine : Order of the State Aviation Service of Ukraine No. 1346. Effective from 09.22.2020. URL: <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2020/09/Nakaz-1346-vid-22.09.2020.pdf> (access date: 15.11.2022).
24. Malik, T., Burachek, V., Brik, Ya. Method of automatic geodetic continuous control of deformations of engineering structures. *Technical sciences and technologies* : scientific journal. Chernihiv : Chernihiv. national technology Univ., 2016. No. 1 (3). P. 145–151.
25. Patent of Ukraine for an invention No. 115261, IPC (2017.01) G01C 11/00 G02B 13/00 Method of automatic total geodetic control of deformations of engineering structures / applicants and patent owners Y. P. Brik, V. G. Burachek, T. M. Malik. No. a 2015 09362 ; application 09.29.2015 ; publ. 10.10.2017, Bull. No. 19/2017.
26. Research on ways to build optical-electronic aerial photography systems for use on unmanned vehicles: report on the GDR (final), No. DR 0113U001451 / National Academy of Sciences of Ukraine SE “Scientific and Technical Center of New Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine”, PVZ University of New Technologies; head of work V. G. Burachek; performers: S. V. Babak, V. G. Burachek, I. M. Kobernyk, P. D. Krelstein, T. M. Malik. Kyiv, 2013. 214 p.
27. Kryachok, S. D., Boyko, O. L., Lyashenko, D. O. The use of geo-information technologies in the provision of administrative and economic management of airports and their land management : materials of the International scientific and practical conference “Challenges of modern land management: digitalization, technological changes and economic transformations”, September 16–17, 2021, Kyiv, NUBiP. P. 128–131.
28. Prusov, D., Boiko, O. The conceptual model of structure and functional purpose of the geoinformation system for administrative and economic management of regional airport. *Geodesy and Cartography*. ISSN 2029-6991. eISSN 2029-7009, 2022. Vol. 48, Iss. 2. P. 46–55. URL: <https://doi.org/10.3846/gac.2022.12570> (access date: 21.11.2022).
29. ICAO Document: Terrain and Obstacle Data Manual. EUROCONTROL. (October 2011). URL: <http://www.eurocontrol.int/publications/terrain-and-obstacle-data-tod-manual> (access date: 11.11.2022).
30. Aeronautical information services. Annex 15 to the Convention on International Civil Aviation. International Civil Aviation Organization.

- The fourteenth edition. July 2013. URL: https://www.vip-class.ru/userfiles/file/biblioteka/attach_15.pdf (access date: 10.10.2022).
31. ICAO Document 9674: World Geodetic System 1984 (WGS-84) Manual. URL: <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ECARAIM/REF08-Doc9674.pdf> (access date: 11.10.2022).
 32. Boyko, O. L., Lyashenko, D. O., Horb, O. I. Development of a conceptual model for the collection of geospatial data of airports using laser scanning methods for creating GIS. *Urban planning and territorial planning* : Scientific and technical collection, KNUBA, 2019. Iss. 71. P. 60–71.
 33. Ivanov, P. S. Terrestrial laser scanning to solve urban planning problems. *Collection of scientific works "Journal of Cartography"*. Iss. 1 (17). Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, 2017. P. 20–29.