

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ НАЗЕМНИХ ЛАЗЕРНИХ СКАНЕРІВ

І. Тревого, А. Баландюк, А. Григораш
Національний університет "Львівська політехніка"

Ключові слова: лазерні сканери.

Актуальність роботи та загальні відомості про лазерне сканування

З аналізу сучасного стану геодезичних та будівельних робіт зрозуміло, що при сьогоdnшньому збільшенні обсягів та зменшенні часу на їх виконання необхідне новітнє технічне геодезичне забезпечення. На сучасному етапі широко використовують електронні тахеометри, що значно зменшують час роботи, не втрачаючи точності та якості знімання. А з появою безрефлекторних приладів, тобто таких, що працюють без відбивача, робота істотно спростилася. Достатньо навести трубу тахеометра на точку і отримати відстань з необхідною точністю. Промінь відбивається від різних поверхонь.

Проте скільки часу знадобиться для детального знімання складного фасаду будівлі або промислового об'єкта, та з якою точністю та щільністю вона буде зроблена, впевнено відповісти складно.

Набагато швидше, простіше і надійніше можна виконати таку роботу за допомогою наземного лазерного сканування (HDS). Цей метод дає змогу створити цифрову модель всього навколишнього простору, подавши його набором точок з просторовими координатами. Основна відмінність від традиційних приладів і методів – набагато більша швидкість вимірювань, сервопривід, що автоматично повертає вимірювальну головку в обох – горизонтальній та вертикальній – площинах і найголовніше – швидкість 5000 вимірювань за секунду (в середньому) і щільність до десятків точок на 1 кв. см. поверхні. Одержана після вимірювань модель об'єкта є гігантським набором точок (від сотень тисяч до декількох мільйонів), що мають координати з точністю від 1 до декількох міліметрів.

Отримання координат точок об'єкта лазерним сканером ґрунтоване на використанні полярної системи координат. Горизонтальний та вертикальний кути визначаються оптико-механічною системою сканера. На шляху до об'єкта імпульси лазерного випромінювання проходять через систему дзеркал, які здійснюють покрокове зміщення лазер-

ного променя. Найпоширеніша конструкція, що складається з двох рухомих дзеркал. Одне з них відповідає за вертикальне зміщення променя, інше – за горизонтальне. Дзеркалами сканера управляють з прецизійних серводвигунів. Зрештою, вони й забезпечують точність наведення променя лазера на об'єкт. Дзеркала відхиляються на задану величину і, отже, дають змогу визначити кути, необхідні для знаходження координат. Віддаль отримується так само, як і в безрефлекторному тахеометрі.

Сучасний стан продукування лазерних сканерів

У сучасний період лазерні сканери виготовляють фірми геодезичного приладобудування, а саме: Leica Geosystems, Topcon, Trimble, Zoller + Froehlich, RIEGL. (рис. 1). Всі вони намагаються максимально задовольнити вимоги користувачів щодо технічних можливостей лазерних сканерів, і уважно стежать за тенденціями розвитку геодезичних потреб. Нині, на нашу думку, лазерні сканери за функціональними можливостями доцільно розділити (див. табл. 1) на дві групи:

- **Автономні** – це клас лазерних сканерів, у комплектації яких є всі стандартні функції та можливості роботи. До них належать практично всі сучасні лазерні сканери.

- **Інтегровані** – це клас лазерних сканерів, які, крім стандартних функцій, мають додаткові можливості, такі як: інтегрований GPS-приймач, цифрова камера з високою роздільною здатністю та інтернет-браузер.

Аналізуючи можливості лазерних сканерів, можна зробити висновок, що технічне та програмне забезпечення у приладів різних фірм практично однакове, але можливості та якість виконаної роботи дещо відрізняються. Якщо розглянути детально (див. табл. 2), то до основних параметрів лазерних сканерів можна зарахувати: точність вимірювання кутів та віддалей, швидкість сканування, діапазон сканування, поле зору у вертикальній та горизонтальній площинах, передавання даних та обробка отриманих результатів.

Таблиця 1

Класифікація лазерних сканерів

Основна класифікація	Моделі лазерних сканерів
АВТОНОМНІ	Leica ScanStation2, Topcon GLS – 1000, Trimble GX
ІНТЕГРОВАНІ	Leica ScanStation C10, Riegl VZ 400
Додаткова класифікація: за принципом виконання вимірювань	Моделі лазерних сканерів
ІМПУЛЬСНІ	Riegl VZ 400, Trimble GX
ФАЗОВІ	IMAGER 5600
За сферою застосування	Моделі лазерних сканерів
ФАСАДНІ	Leica ScanStation C10
ІНТЕР'ЄРНІ	Leica ScanStation2, Topcon GLS – 1000

У більшості моделей сканерів використовують імпульсний лазерний віддалемір та конструкцію з двома рухомими дзеркалами для зміщення променя у вертикальній та горизонтальній площинах.

Точність вимірювання кутів та ліній є одним із найважливіших параметрів під час оцінки лазерного сканера. За цим параметром лазерні сканери переважно залежать від точності роботи серводвигунів, які переміщують дзеркала, забезпечуючи точність скерування лазерного променя на об'єкт. Якщо точність вимірювання задається великою, то швидкість сканування знижується і навпаки.

Швидкість сканування є важливим параметром, оскільки впливає на час та обсяги роботи. Сьогодні сканери можуть досягати швидкості до 500000 пунктів/с, крім того, цей параметр можна регулювати залежно від потреби.

Наступним, не менш важливим параметром, є відстань сканування, яка також впливає на терміни виконання роботи і залежить насамперед від поверхні, на яку здійснюється вимірювання, тобто від відношення інтенсивності відбитого сигналу до вихідного – так званого альбедо. Чим темніша поверхня, тим меншою буде інтенсивність відбитого сигналу, і відповідно меншою буде і відстань сканування. Тому варто звертати увагу, за якого альбедо були отримані заявлені максимальні віддалі вимірювання.

3-D лазерні сканери можна додатково класифікувати за принципом ведення вимірювань на імпульсні та фазові.

- **Імпульсні** сканери мають перевагу щодо далькості вимірювань.

- **Фазові** сканери мають перевагу у швидкості (на порядок), але втрачають точність зі зростанням віддалі до об'єкта, тому зазвичай застосовуються для знімання інтер'єрів або замкнутих просторів (тунелів, печер тощо).

Ще одним важливим параметром класифікації сканерів є сфера їх застосування:

- **Фасадні** сканери мають перевагу в далькості і швидкості вимірювань, але мають обмежену зону сканування. Основна сфера застосування фасадних 3D сканерів – знімання відкритих ділянок місцевості і зовнішньої поверхні великомасштабних об'єктів (фасадів будівель і споруд), яка виконується зазвичай з декількох станцій.

- **Інтер'єрні** сканери мають максимально широку зону сканування, але поступаються за далькістю вимірювань, тому зазвичай застосовуються для знімання інтер'єрів або невеликих замкнутих просторів (тунелів, печер тощо).

Поле зору приладу залежить від його конструкції і в горизонтальній площині становить 360°, а у вертикальній площині варіюється від 60° до 310° (так звані панорамні сканери).

Зберігання даних здійснюється безпосередньо на прилад або через вбудований інтерфейс на ноутбук. У новітніх приладах для передавання даних використовується безпроводна технологія Wi-Fi та/або стандартний роз'єм Ethernet.

Інтегровані лазерні сканери укомплектовані цифровою камерою, завдяки чому можна попередньо візуалізувати об'єкт, що сканується, для спрощення вибору області сканування та подальшої обробки й моделювання.

Живлення приладу здійснюється від акумуляторної батареї або безпосередньо від мережі 220 В. При останньому способі можуть виникати проблеми з доступом до електричної мережі.

Робочі параметри роботи сканерів коливаються від 0°C – до +40°C, проте існують лазерні сканери, такі як Leica HDS 4400, що можуть працювати за екстремально низьких температур – до – 40°C.

Єдиними недоліками лазерних сканерів є вага понад 10 кг та обмеження можливостей проведення робіт погодними умовами.

Загалом весь процес сканування є максимально автоматизованим. Дані вимірювань у реальному часі накопичуються у спеціальній базі даних на вбудованому чи зовнішньому накопичувачі. На швидкість ведення робіт істотно впливає кваліфікація оператора, оскільки від неї залежить кількість станцій та правильний вибір щільності (кроку) сканування.



Рис. 1. Зовнішній вигляд деяких з моделей лазерних сканерів

Таблиця 2

Основні технічні характеристики лазерних сканерів

Марка / Технічні характеристики	Leica ScanStation C10	IMAGER 5600	Topcon GLS-1000	Trimble GX	Riegl VZ 400
Діапазон сканування	300 м – 90 % альbedo; 134 м – 18 % альbedo	79 м – 90 % альbedo; 20 м – 18 % альbedo;	330 м – 90 % альbedo; 150 м – 18 % альbedo	350 м – 90 % альbedo; 155 м – 18 % альbedo;	500 м – 90 % альbedo; 160 м – 18 % альbedo;
Точність визначення: віддалі, мм/м	4	1	4	4	5
кута	12"	25"	6"	2"	2"
Швидкість сканування:					
мах. пунктів/с	50000	500000	3000	5000	42000
середня пунктів/с	50000	250000	3000	5000	125000
Поле зору:					
вертик. град.	270	310	70	60	100
гориз. град.	360	360	360	360	360
Наявність GPS-системи	так	ні	ні	ні	так

**Новітній лазерний сканер
Leica ScanStation C10**

На цьогорічній виставці INTERGEO 2009 у Карлсруе (Німеччина) компанія Leica Geosystems демонструвала нову модель інтегрованого лазерного сканера, сконструйованого на основі ScanStation 2. На одній компактній платформі містяться: **сканер, компенсатор нахилу, батарею живлення, контролер, накопичувач даних, лазерний центрир і відеокамеру з автофокусуванням**, що дає змогу пришвидшити роботу і відмовитись від зовнішніх пристроїв (таких як портативний комп'ютер).

Крім того, ця модель містить нову систему дзеркал **Smart X-Зеркало™**. Дзеркало автоматично обертається для швидкого сканування повного купола в 360° і швидше працює під час сканування окремих частин.

Замість цифрової фотокамери сканер комплектується вбудованою відеокамерою, яка подає потокове відео у реальному часі для ефективнішого задання області сканування і локалізації марок.

Але чи не однією з головних новинок та інновацій **стала можливість використання для моделі Leica ScanStation C10, GPS Smart Antena**, за допомогою якої можна визначати координати точки стояння, не прив'язуючись до опорної мережі, що дає можливість значно скоротити затрати часу на об'єкті сканування.

Технічне та програмне забезпечення для обробки даних

Програмне забезпечення при використанні технології HDS відіграє надзвичайно важливу роль, оскільки саме воно забезпечує керування процесом сканування та опрацювання його результатів. Саме програмне забезпечення визначає можливості та обмеження під час роботи з хмарами точок. Головними принциповими особливостями програм для лазерного сканування є можливість працювати з дуже великим обсягом даних і наявність розвинених функцій тривимірного моделювання, до яких входять функції, що дають змогу користувачеві без застосування додаткового обладнання створювати 3D моделі складних поверхонь або окремих їх елементів, отримувати креслення перерізів або сканованого об'єкта загалом.

Відповідно, щоб забезпечити ефективну роботу, слід забезпечити мінімальні параметри робочих комп'ютерів (див. табл. 3).

Сьогодні існує безліч програмних продуктів, за допомогою яких керують системою сканування. Одним з найкращих програмних комплексів вважається продукт Leica Cyclone™, що містить у собі всі інструменти, необхідні для виконання повного циклу робіт в інженерії, геодезії та будівництві з використанням обладнання Leica Geosystems.

Таблиця 3

Параметри робочих комп'ютерів сканерів

Параметри	Leica ScanStation C10	Trimble GX	Imager 5006	Topcon GLS-1000	Riegl VZ 400
Процесор	1,7 GHz Pentium M	1,7 GHz Pentium M	1.8GHz Pentium M	1.8GHz Pentium M	1.9GHz Pentium M
Оперативна пам'ять	1024 mb.	1024mb.	1024 mb.	1024mb	1024mb
Операційна система	Windows XP, Windows Vista	Windows XP, Windows Vista	Windows XP, Windows Vista	Windows XP, Windows Vista	Windows XP, Windows Vista

Ця програма містить такі модулі, необхідні для розв'язання окремих задач загального процесу обробки даних тривимірного лазерного сканування:

- **Cyclone-SCAN** – модуль, призначений для управління роботою сканера. Користувач може вибирати швидкість та щільність сканування, задавати область сканування, фільтрацію даних, прив'язку станції за наявності геодезичної основи, попередній аналіз отриманих даних тощо.

- **Cyclone-REGISTER** – модуль, що застосовується для врівноваження хмар точок, виконаних з різних точок стояння, за допомогою

спеціальних візирних марок або без них, а також можливість прив'язки даних сканування до будь-якої відомої системи координат.

- **Cyclone-Survey** – спрощена система обробки хмар точок, до якої входять всі інструменти, необхідні для створення триангуляційних моделей, для розрахунку об'ємів та площі поверхонь, створення ортогональних зображень.

- **Cyclone-MODEL** – модуль, що призначений для моделювання дво- та тривимірних геометричних елементів та створення креслень. Важливою особливістю цього модуля є можливість за допомогою напівавтоматичних інстру-

ментів моделювання створювати моделі труб та складних металоконструкцій.

Однією з переваг цього продукту є об'ємна повнота тривимірних хмар точок порівняно з іншими джерелами геометричної інформації про об'єкт. Всі дані – хмари точок, зображення, топографічна прив'язка, результати вимірювання та врівноваження, моделі об'єктів та інші дані зберігаються на одному файлі. Тому не потрібно переписувати або пересилати інформацію з одного модуля до іншого для подальшої обробки. Технологія Клієнт/Сервер уможливило одночасну роботу 10 спеціалістів над одним проектом.

Для надійної роботи прилади перевіряють (юстують) у сервісних центрах двічі на рік для усунення несправностей та перевірки точності вимірювання. Про необхідність перевірки прилад буде повідомляти за допомогою неприємного звукового сигналу.

Сфери застосування лазерного сканування

Наземне лазерне сканування як спосіб відображення місцевості і реальної поверхні об'єктів у вигляді їхнього тривимірного зображення разом із електронними тахеометрами та системами GPS успішно використовують у таких сферах: інженерна геодезія; знімання промислових об'єктів з великою кількістю комунікацій, атомні, теплові, гідроелектростанції, знімання автомобільних і залізничних шляхів, мостів, знімання та профілювання тунелів та іншій гірській промисловості; визначення об'ємів гірських порід, які видобуто у результаті вибуху або запасів сировини, 3D-моделювання відкритих кар'єрів та підземних шахт, маркшейдерський супровід бурових робіт та будівництво і проектування родовищ корисних копалин. Лазерне сканування забезпечує принципово нові можливості для визначення об'ємів гірських порід. За рахунок високої густини точок та точності визначення просторових координат поверхні гірських порід точність визначення об'ємів становить 0,5%. Час роботи порівняно з традиційними методами зменшується в десятки разів [1, 5].

• **Архітектура:** архітектурні обміри, геодезичне забезпечення проектування і монтажу фасадних конструкцій; контроль деформацій; 3D-моделювання будівель, вулиць і кварталів; складання детальних планів і 2D-креслень; моніторинг фасадів; створення та відновлення виконавчої документації та створення робочих креслень [2–5].

• **Будівництво та експлуатація споруд:** 3D-моделювання; коригування проекту в процесі будівництва; оптимальне планування і контроль переміщення, встановлення і видален-

ня великих частин споруд або обладнання; монтажні роботи; моніторинг стану об'єкта під час експлуатації; відновлення втрачених креслень.

• **Управління дорогами:** знімання дорожнього полотна, створення 3D-моделі рельєфу; проектування, реконструкція і будівництво об'єктів інфраструктури; діагностика стану рейкової колії, будівництво під'їзних шляхів, контроль граничних величин відхилень, контроль верхнього стану автодоріг [5].

• **Енергетика:** знімання об'єктів (кабелі, опорні конструкції), створення 3D-моделей, монтажні роботи; моніторинг стану об'єкта, контроль деформацій, складання планів і креслень.

Інвентаризація об'єктів нерухомості.

Цього року у зв'язку з початком реставраційних робіт виконано лазерне сканування Жовківського замку (див. рис. 2) за участю фахівців науково-виробничої геодезичної фірми “Дока” та Інституту геодезії Національного університету “Львівська політехніка”. Для створення проектної документації відскановані внутрішні, зовнішні фасади та внутрішні приміщення всього комплексу. Це перший проект такого масштабу в Україні. Споруда в плані майже квадратна, з довжиною сторони понад 100 м.

Роботи виконували за допомогою обладнання фірми Leica Geosystems, а саме лазерного сканера Leica ScanStation 2. Цей прилад має поле зору 360° по горизонталі та 270° по вертикалі, тобто не сканував лише ділянку під штативом. За завданням замок сканували ззовні та зсередини. Під час сканування внутрішніх приміщень до уваги бралися перший та другий поверхи та частково горище адміністративного корпусу для оцінки товщини перекриття. Базовий крок сканування становив 3 см, деякі фрагменти (за узгодженням із замовником), наприклад центральний портал, сканували з кроком 3 мм. Весь процес сканування зайняв 35 робочих днів протягом 3 місяців з 281 станцій, з яких виконувалося знімання. Під час сканування використовувалось бездротове з'єднання Wi-Fi, що дало зручності в роботі та дало змогу оптимізувати робочий процес. Один раз на тиждень здійснювали резервне копіювання виконаної роботи на персональний комп'ютер.

Результатом сканування є об'єднаний скан, що складається з понад 210 млн. точок. Дев'ять опорних марок було закоординовано в місцевій системі координат. Це дало змогу привести до неї результуючу хмару точок. Об'єднання сканів для контролю якості знімання під час робіт здійснювалось після роботи на кожній станції.

Зшивка в єдину систему координат виконувалася в декілька етапів, оскільки для врівноваження настільки великої кількості марок максимальна кількість ітерацій виявилась недостатньою. За результатами врівноваження хмар точок можна говорити про точність зшивки сканів (незбіг положення марок), не гіршу за 6 мм.

Завдяки цьому проекту здійснена оптимізація процесу робіт та набутий досвід з оцінки обсягів та часу робіт. Реалізований проект став важливим кроком до популяризації впровадження сучасних методів знімання в архітектурі. Для зручності роботи з хмарою точок було створено умовні системи координат для кожного з фасадів замкових споруд та для кожної стіни кожної вежі. Ці системи координат використовують для відображення хмари точок за допомогою плагіна CloudWorx у програмному комплексі AutoCad при подальшому створенні планів фасадів, перерізів та іншої проектною документації.

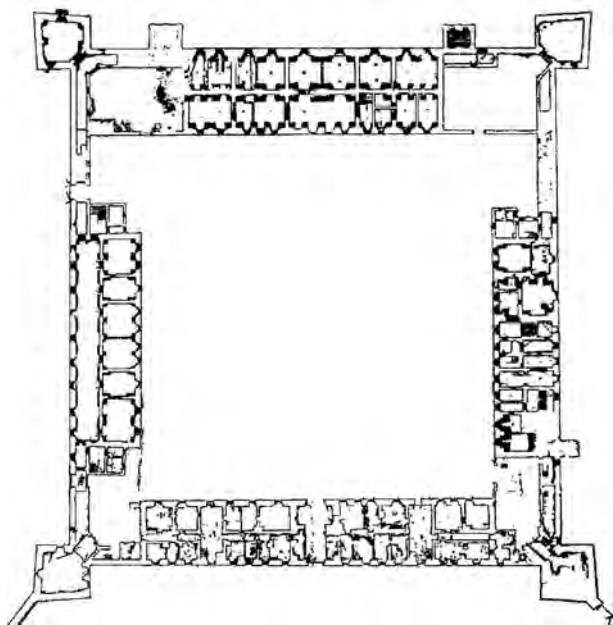


Рис. 2. Горизонтальний переріз Жовківського замку

Ще одним з важливих напрямів застосування технології лазерного 3D-сканування є знімання індустріальних об'єктів. Сьогодні в Україні складна ситуація, коли актуальні плани підприємств та заводів відсутні, оскільки більшість з них перепрофілювалися і повністю або частково змінили обладнання після розпаду Радянського Союзу. Технічна документація часто втрачена або де-факто застаріла. Тільки метод лазерного сканування дасть змогу швидко створити повний комплекс документації про геометрію об'єктів та

застосовувати ці дані для моделювання і модернізації. Наприклад, сканування агрегату однієї з газоперекачувальних станцій було виконано всього за **один** робочий день!

Перспективи розвитку

Розвиток технологій наземного лазерного сканування полягає у створенні мобільних сканувальних лазерних систем, які дають можливість виконувати тривимірне знімання лазерними сканерами, що рухаються. Як рухому основу для цієї мети можна використати рухомий склад автомобільного, залізничного, а також водного транспорту.

Ці системи можна використовувати для знімання довгих лінійних об'єктів, таких як автомобільні шляхи та залізниці з прилеглими до них елементами місцевості, ліній електропередач, і вишукування для побудови нових ліній. Також можуть застосовуватись у, на перший погляд, незвичайних галузях, для визначення ушкоджень будівель, автодорожній та кримінальній поліції.

Серед перспектив розвитку лазерних сканерів – удосконалення їх технічних параметрів, а саме підвищення точності визначення відстані та кутових вимірювань, збільшення можливості дальності сканування (лазерні сканери: Leica HDS 4400 – до 700 м, Riegl LMS-Z420i – до 1000 м), що дасть змогу використовувати лазерні сканери у топографічному зніманні для створення великомасштабних карт, інтегрування лазерних систем із системами позиціонування GPS, зменшення розмірів та ваги приладів, та можливості роботи приладів за низьких температур для ефективнішого використання.

Висновок

На ринку геодезичних послуг все ширше застосовується технологія лазерного сканування, яка дає змогу виконувати складні інженерні задачі за короткий час. Цей процес стає все менш трудомістким, оскільки лазерні сканери забезпечують високий рівень автоматизації та точність, що дає їм змогу конкурувати із електронними тахеометрами за точністю, вартістю та швидкістю роботи. Лазерні сканери широко застосовують під час розв'язання інженерних задач, будівельних та реставраційних робіт, в енергетиці та інвентаризаційних зйомках, а також для моніторингу складних об'єктів та дорожнього покриття. Крім цього, важливо зазначити, що фірми постійно удосконалюють лазерні сканери, надаючи їм нові функціональні можливості, що підвищує їх конкурентоспроможність.

Література

1. Наземное лазерное сканирование: Монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.

2. Дишлик О., Марков С., Тревого І. Підхід до побудови тривимірних моделей складних просторових об'єктів при комплексному використанні технологій лазерного сканування та фотограмметрії // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Збірник наукових праць. – Львів, 2008. – Вип. 2 (16). – С. 101–106.

3. Марков С., Дишлик О. Проблеми використання тривимірного лазерного сканування під час вирішення завдань збереження культурної спадщини України // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Збірник наукових праць. – Львів, 2008. – Вип. 1 (15). – С. 184–194.

4. Capra A., Costantino O., Rossi G., Angelini M.G., Leserri M. Survey and 3D modelling of Castle del Monte // CIPA 2005, 20 International Symposium: International Cooperation to save the World's Cultural Heritage. – Torino, Italy, 26 September – 1 October 2005. – P. 183–188.

5. Коугия В. Канашин. Н. Исследование точности объединения облаков точек, полученных по данным лазерного сканирования // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Збірник наукових праць. – Львів, 2008. – Вип. 1 (15). – С. 87–92

6. Войтенко С., Шульц Р., Білоус М. Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Збірник наукових праць. – Львів, 2009. – Вип. 1 (17). – С. 144–151.

Аналіз технологічних можливостей сучасних наземних лазерних сканерів

І. Тревого, А. Баландюк, А. Григораш

Виконано детальний аналіз лазерних сканерів відомих у світі фірм. Розглянуто основні

технічні характеристики приладів та їхнього програмного забезпечення. Вдосконалена класифікація лазерних сканерів, визначено можливості їх застосування у різних сферах, дано оцінку новітніх розробок, а також визначено пріоритети та перспективи їх подальшого розвитку. Наведено результати лазерного сканування великого архітектурного комплексу “Жовківський замок”.

Анализ технологических возможностей современных наземных лазерных сканеров

И. Тревого, А. Баландюк, А. Григораш

Осуществлен детальный анализ лазерных сканеров известных в мире фирм. Рассмотрены основные технические характеристики приборов и их программного обеспечения. Усовершенствована классификация лазерных сканеров, установлены возможности их применения в различных сферах, дана оценка новейших разработок, а также определены приоритеты и перспективы их дальнейшего развития. Приведены результаты лазерного сканирования большого архитектурного сооружения “Жовковский замок”.

Analysis of the technological capabilities of modern surface Laser scanners

I. Trevoho, A. Balandyuk, A. Hryhorash

This article deals with the detailed analysis of laser scanners produced by world leading companies. Basic characteristics of devices and their software were taken into consideration. In this article the classification of laser scanners and their possible applications in different fields was improved, was given an estimation of up-to-date equipment, identified priorities and perspectives of their further development. The results of HDS technology implementation for scanning of large-scale Zhovkivsky castle architectural complex are presented. The conclusions are made.