

ЛІДАРНЕ ЗНІМАННЯ ЯК ОСНОВА СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ ТА ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ СПОРУД

AN AIRBORN LASER SCANNING IS A BASIC FOR TOPOGRAPHIC PLANS AND THREE-DIMENSIONAL MODELS OF CONSTRUCTIONS



Хом'як Анна Ярославівна, кандидат технічних наук,
Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг,
геодезії та землеустрою, доцент, akhomjak@gmail.com, +380673990164,

<http://orcid.org/0000-0002-2483-8153>



Омельчук Сібілла Костянтинівна, кандидат технічних наук,
Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг,
геодезії та землеустрою, доцент, sib-@ukr.net, +380974403827,

<http://orcid.org/0000-0003-2191-1551>



Неізвестна Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук,
Національний транспортний університет, кафедра проектування доріг, ге-
одезії та землеустрою, доцент, supernesh@ukr.net, +380957970158,

<http://orcid.org/0000-0003-2406-3906>



Фещенко Ганна Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний
транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та уп-
равління майном, e-mail: fanna17@ukr.net, тел. +380677441754, Україна, 01010,
м. Київ, вул Михайла Омеляновича-Павленка, 1,

<https://orcid.org/0000-0002-8212-5362>



Набільський Олександр Петрович, Національний транспортний універси-
тет, факультет транспортного будівництва, спеціальність «Геодезія»,
студент, nabils'kii.allo@gmail.com, +380635996370,

<https://orcid.org/0000-0001-5043-9415>

Анотація Лідарне знімання місцевості дозволяє сьогодні отримати хмару точок з чітко визна-
ченими просторовими координатами. Якщо класифікувати цю хмару точок, то на базі отриманої ін-
формації є можливість створення різноманітних моделей.

Сьогодні тривимірні моделі споруд використовують в багатьох галузях для аналізу, прогнозування розвитку тих чи інших явищ, пов'язаних із самою спорудою, тож існує необхідність дослідити методи створення тривимірних моделей споруд та описати алгоритм їх побудови.

В роботі розглядається метод лідарного знімання, аналізується обробка даних, отримуваних у вигляді хмари точок, в програмному забезпеченні з метою створення інформаційних моделей.

Ключові слова: лідар, сканування, лазер, хмара точок, тривимірна модель, інформаційна модель.

Вступ *Мобільне лазерне сканування* - технологія отримання високоточних тривимірних просторових даних об'єктів лазерними сканерами в русі з використанням різних наземних транспортних засобів.

Лідарне знімання засноване на безперервному отриманні відгуку від поверхні, що підсвічується лазерним променем з фіксованою довжиною хвилі. Лідарне знімання місцевості дозволяє отримати хмару точок з чітко визначеними просторовими координатами. Якщо класифікувати цю хмару точок, то на базі отриманої інформації є можливість створення різноманітних моделей.

Протягом останнього десятиріччя дані мобільного лазерного сканування застосовуються як при проектуванні, так і при моніторингу різних об'єктів інфраструктури та природних процесів. Спектр застосування системи дуже широкий – від побудови 3D моделей, картування берегової лінії, прогнозування зсувів і повеней, вивчення місць існування тварин до оцінок наслідків різних впливів на навколишнє середовище.

Мобільне лазерне сканування слід виконувати при геодезичних вишукуваннях і моніторингу стану автомобільних і залізничних доріг, для оцінки технічного стану тунелів, при тривимірному моделюванні міської інфраструктури та інших об'єктів уздовж транспортних шляхів.

При використанні технології повітряного лазерного сканування досягається висока продуктивність польових робіт при мінімальних фінансових і часових витратах, що, в свою чергу, позитивно впливає на вартість, якість і швидкість проведення інженерних вишукувань, а також на можливість отримання більш точних і повних даних, ніж при проведенні вишукувальних робіт традиційними методами.

Мета і методи Поняття інформаційного моделювання споруд як засіб визначення їх параметрів було запропоновано професором Технологічного інституту Джорджії Чаком Істманом у 1975 р. під назвою Building Description System (Система опису будівлі). Пізніше, у 1986 р., англієць Роберт Ейш вперше використав термін Building Modeling у його нинішньому розумінні при проектуванні Терміналу 3 в аеропорту Хітроу. Саме він вперше сформулював основні принципи інформаційного підходу у проектуванні: тривимірне моделювання, автоматизація отримання креслень, інтелектуальна параметризація об'єктів, розподіл процесу будівництва на етапи.

По хмарах точок можна вирішувати наступні завдання: побудова тривимірних цифрових моделей поверхні виміряних об'єктів; побудова планів, профілів; оцінка поточного стану різних конструкцій в порівнянні з проектною моделлю; визначення деформацій об'єкта в результаті порівняння послідовно виконаних вимірювань; виконання «віртуальної» топографічної зйомки місцевості в офісі.

Найпоширенішим способом збирання матеріалів для створення 3D моделей є лазерне сканування. Найбільш продуктивним є метод повітряного лазерного сканування, оскільки він дозволяє отримувати інформаційні моделі для великих площ.

Результати і пояснення Лідарне знімання засновано на безперервному отриманні відгуку від поверхні, що підсвічується лазерним променем з фіксованою довжиною хвилі. Дані системи працюють

за принципом безперервного отримання смуг сканування. Лазерний промінь у межах однієї смуги відхиляється дзеркалом або призмою (в оптичних сканерах), а набір смуг отримується внаслідок руху носія. Схема виконання лідарного знімання наведена на рис.1.

Густота точок відбиття залежить від частоти генерування імпульсів. У деяких системах це 100 кГц, тобто за одну секунду фіксується 100 000 точок відбиття.

Окрім згаданої вище апаратури, деякі системи оснащені й допоміжною апаратурою – однією або двома відеокамерами. Перша орієнтована в напрямку до землі, а друга – під кутом 45 градусів й скерована вперед. Отримані зображення можна використовувати як доповнення до побудованої сканером цифрової моделі. Деякі найновіші системи оснащені цифровими аерознімальними камерами, що у сукупності утворює потужний багатоцільовий знімальний комплекс.

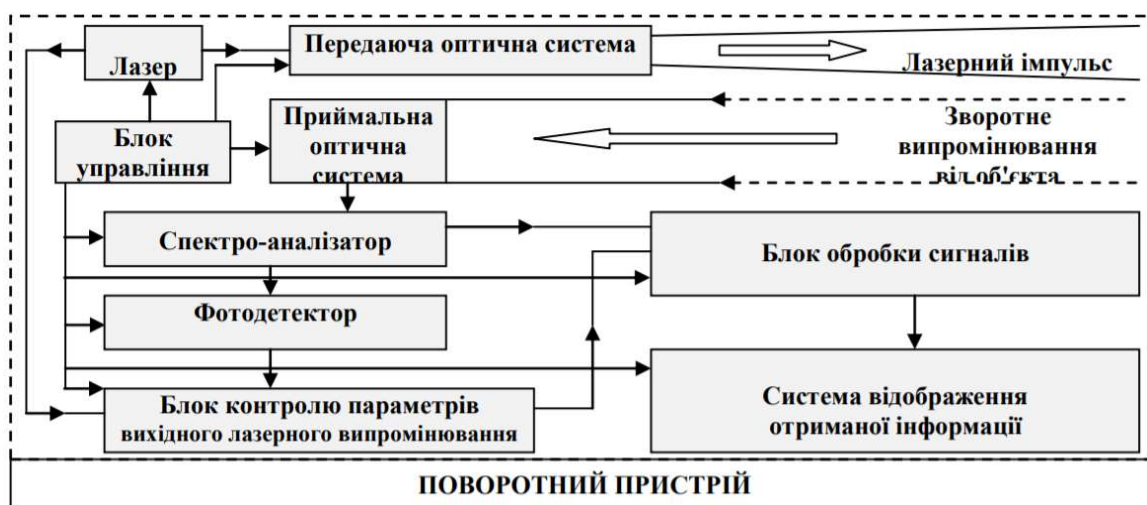


Рисунок 1 – Загальна структурна схема лідарного знімання

Figure 1 – The general structure of the airborne laser scanning

Сучасні лідарні системи дають змогу фіксувати декілька відбиттів променя від об'єкта (Рис. 2) Наприклад, якщо лазерний промінь падає на крону дерева, то перше відбиття буде від крони, а наступне – від поверхні Землі. Лазерний промінь широко використовують на практиці, оскільки можна побудувати, наприклад, цифрову модель лісового покриття за кронами дерев, цифрову модель дахів будинків для забудованих територій, цифрову модель високовольтних ліній електропередач тощо.

Коли йдеться про картографування територій, то з технологічного погляду побудова цифрових моделей вимагає так званого "чищення", тобто усуваються імпульси, що не пов'язані з поверхнею Землі. Частково це робиться апаратно-програмно, проте повністю цей процес автоматизувати не вдається, й тому потрібно втручання оператора-фотограмметриста.

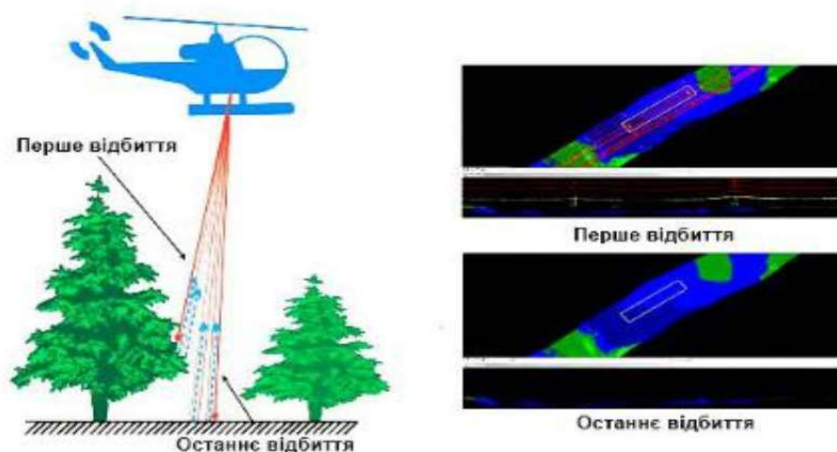


Рисунок 2 – Схема проходження лазерного променя
Figure 2 – The Plan of Airborne laser scanning

Окрім лазера, який надсилає імпульс з оптичного центру, на носії встановлено GPS-приймач для фіксації просторових координат точки та інерційно навігаційну систему (INS), що фіксує нахил платформи з лазером, тобто три кути Ейлера.

Кінцевим результатом лазерного сканування є визначені просторові координати точок земної поверхні.

Сукупність точок відбиття лазерних променів утворює нерегулярну сітку з великою кількістю таких точок. За цими даними математичним способом можна, після камерального доопрацювання, отримати цифрову модель рельєфу (ЦМР) поверхні у вигляді регулярної сітки.

Для отримання аерофотознімків, з якими традиційно працюють фотограмметричні додатки, необхідні повітряні носії знімального обладнання. В якості таких носіїв використовують літаки, вертольоти, а також останнім часом БПЛА. Для високоточного аерофотознімання в топографічних цілях переважно використовують пілотовані літаки.

Вибір літака - один з етапів планування знімання. Загальні вимоги до літака: хороша поздовжня та поперечні стійкості; достатній діапазон швидкості, невеликий радіус повороту, висока швидкість; запас горючого на 6-8 годин польоту; оснащення високоточним навігаційним обладнанням; зручність розміщення та експлуатації аерофотоапаратури та інших приладів, необхідних для знімання; наявність фотолюка для камери. По типу силової установки або двигуна розрізняють літаки: поршневі; турбогвинтові та реактивні.

Для обробки лазерного сканування використовують програмні пакети (ППП): MicroStation, ArcMap та Autodesk Civil 3D. PPP MicroStation є багатофункціональним, високопродуктивним пакетом автоматизованого проектування (CAD, САПР), який забезпечує функції креслення, візуалізації, аналізу, моделювання і керування базами даних. Microstation імпортує й експортує різні векторні формати (DWG, DXF, IGES і CGM), растрові формати (TIF, JPG, CI, COT, RGB, RLE, PCX, PCT, EPS, RS, TGA, BMP, WPG). Передбачено можливість використання растрових зображень як підкладки (референт файлів), а також їхнього геометричного перетворення, що дозволяє, наприклад, спільно обробляти аерокосмічні зображення і векторну графіку.

Bentley Systems Incorporated є одним зі світових лідерів в області поставок комплексних програмних рішень для підтримки інфраструктури. Саме архітектори, інженери, конструктори і експлуатуючі організації покликані поліпшити наш світ і якість життя, тому місія компанії полягає в тому, щоб

підвищити ефективність їх проектів. Bentley підтримує фахівців в сфері інфраструктури, допомагаючи їм освоювати інформаційні технології, організовуючи навчання і освоєння передового досвіду.

Як правило, в складі знімального комплексу повітряного лазерного сканера присутня цифрова аерофотокамера, що здійснює синхронну аерофотозйомку місцевості з високою роздільною здатністю (розмір пікселя на місцевості від 3 см в залежності від висоти зйомки). Використання комплексу в такому складі дозволяє в кілька разів скоротити час і витрати при подальшій обробці польових матеріалів і створенні карт і планів, так як значення елементів зовнішнього орієнтування знімків виходять з високою точністю практично під час зйомки.

Результатом повітряного лазерного сканування є некласифікована «хмара» точок («сирі дані»). Хмара точок - це величезні набори висотних 3D точок, що мають значення x , y , z , а також додаткову атрибутику, наприклад, час GPS, інтенсивність і т.д. Конкретні поверхні, що відобразили сигнал, класифікуються за початкової обробки хмари точок. Точки земної поверхні, будівель, покриву лісу, шляхопроводів та інших об'єктів, з якими стикається лазерний промінь, складають дані хмари точок. Крім позиційних значень x , y і z системою зберігається також додаткову інформацію. Для кожного лазерного імпульсу записуються і зберігаються такі атрибути: інтенсивність, номер відображення, кількість відбитих сигналів, значення класифікації точки, крайні точки лінії польоту, значення RGB, час GPS, кут і напрямок сканування.

Після отримання автоматично згенерованої моделі споруди обов'язковим кроком є перевірка цієї моделі на правильність побудови та на відповідність «хмарі» точок, яка проводиться в повністю ручному режимі.

Наводимо один з прикладів складної будівлі з елементами баштового типу. Автоматично програма намагалася згенерувати модель по точках, але перешкодою стала куполоподібна фігура (Рис.3). Через це дана модель перебудовується в ручному режимі, в результаті отримуємо модель з відбудованими основними скатами. (Рис.4).

Далі моделюється куполоподібна частина. Основа матиме форму круга, але за основу приймається правильний восьмикутник – це дозволяє побудувати геометрично правильну модель. Вимальовується «каркас» частини моделі з використанням *Bentley Microstation*. Важливим нюансом є використання в цій процедурі інструменту *Toggle Accu Draw*, який дозволяє малювати лінії паралельно осям координат. На рисунках 3 та 4 зображений процес створення «каркасу» з площин. Відмалювавши дану частину, проводяться дії з шарами: розгруповуються всі полігони даху в окремі одиниці, видаляються стіни старої моделі та вже по новому даху створюються стіни нової моделі, з куполоподібною частиною використовуючи інструмент *Create Buildings from polygons*. Отримуємо 3D модель споруди (Рис.5).

В результаті по отриманій 3D моделі ми маємо можливість визначати розмір споруди з точністю до 5 см.

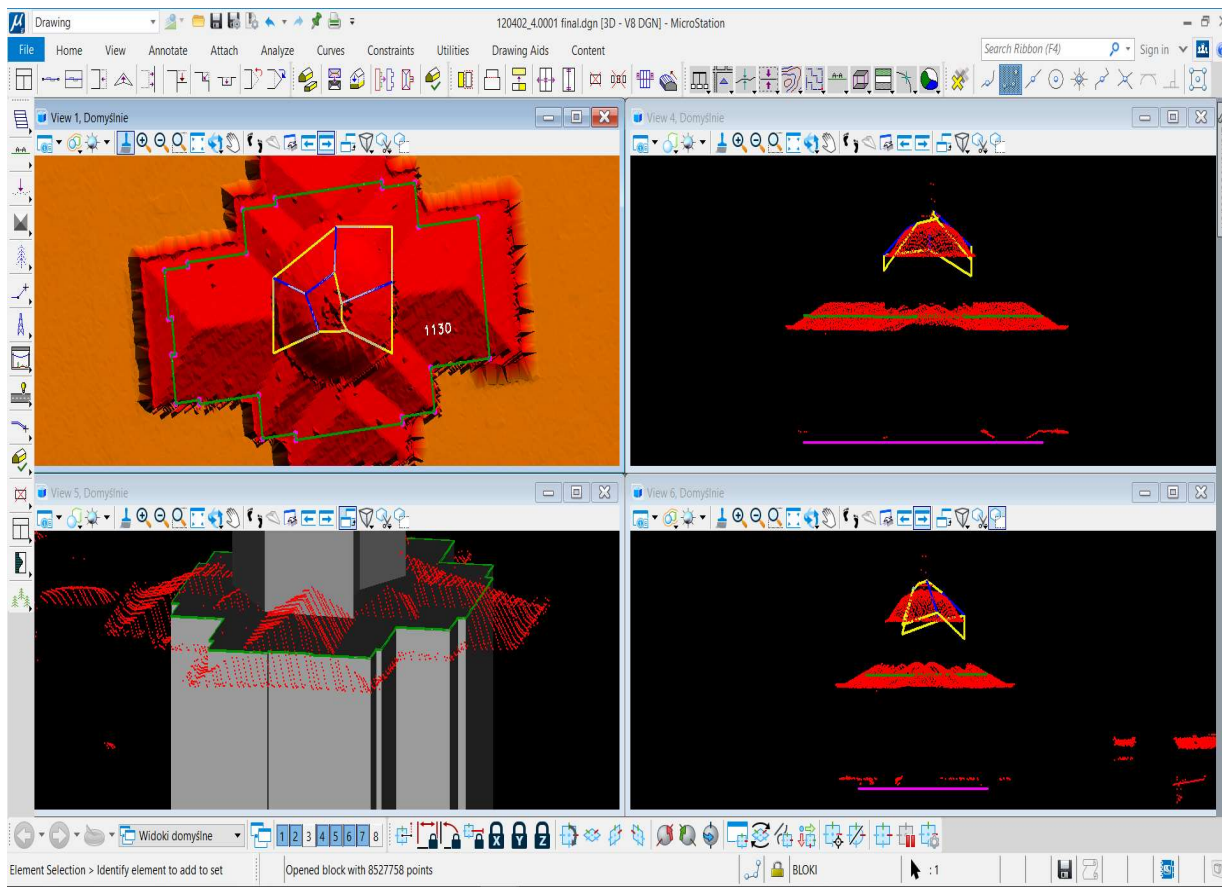


Рисунок 3 – Автоматично згенерована модель з елементами баштового типу

Figure 3 – Authomatically generated model with elements of the tower type

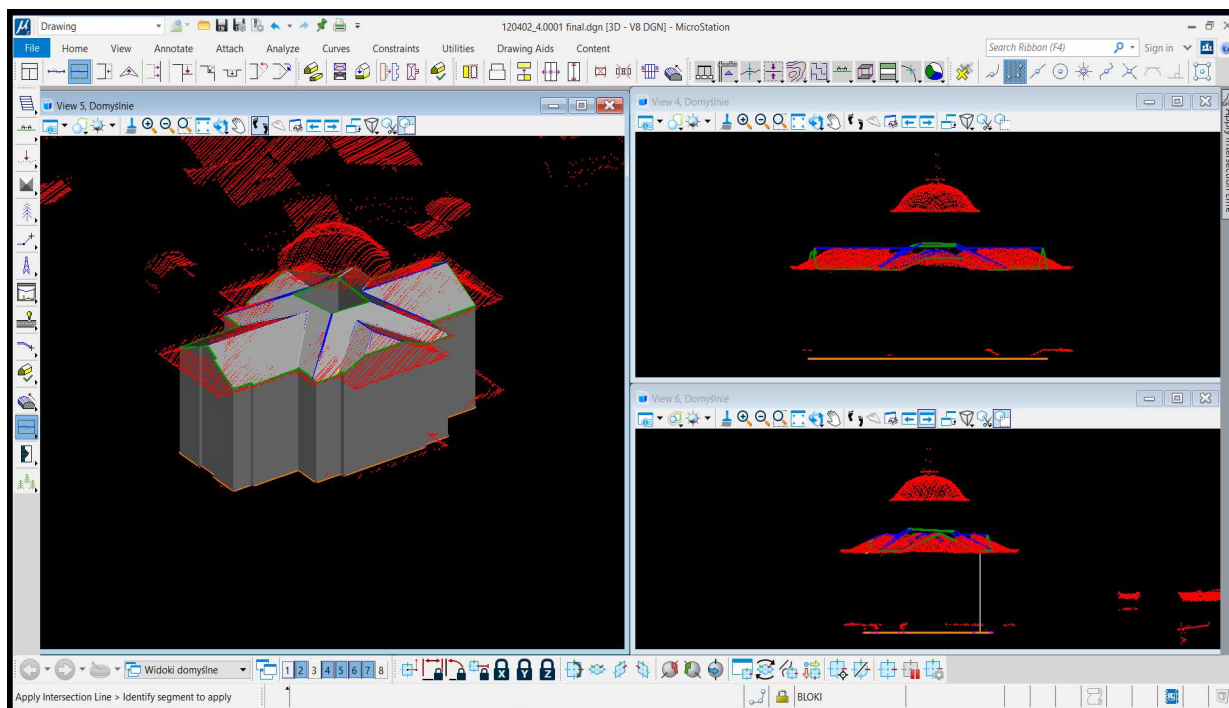


Рисунок 4 – Побудова основних скатів споруди

Figure 4 – Construction of the main construction ramps

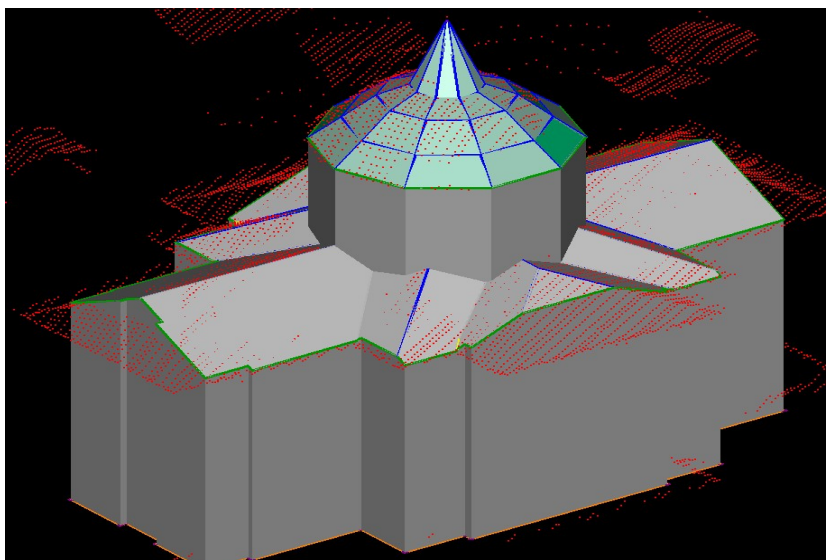


Рисунок 5– Результат побудови моделі з елементами баштового типу
Figure 5 – Results of developed model with the elements of tower type

Висновки та рекомендації Лідарне знімання є одним із найсучасніших видів вишукувальних робіт. Кінцевим результатом обробки «хмари» точок в програмному забезпеченні є 3D модель міліметрової точності (геометрично твердотільна модель об'єкта, доступна для імпорту практично в будь-яку САПР).

Застосування лідарного знімання дозволяє досягати високої продуктивності при виконанні польових робіт при мінімальних фінансових і часових витратах, що, в свою чергу, позитивно впливає їх на вартість, якість і швидкість та на можливість отримання більш точних і повних даних, ніж при застосування традиційних методів.

Перелік посилань

1. Буданов П. Ф. Лідари. Основні властивості і перспективи застосування в зразках озброєння і військовій техніці / П. Ф. Буданов, М. П. Буданов, Б. О. Демидов // Системи озброєння і військова техніка. — 2008. — № 1. — С. 30-37.
2. A schematic diagram of 3D remote sensing [Інтернет джерело] URL:https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-diagram-of-3D-remote-sensing-using-helicopter-borne-and-ground-based-scanning_fig1_6763758 (дата звернення: 28.04.2018)
3. Лазерне сканування як джерело даних для ЦМР [Інтернет джерело] URL:<https://studfiles.net/preview/6440954/page:33/> (дата звернення: 28.04.2018)
4. К.А. Мамонов та ін. *Принцип роботи мобільних лазерних пристроїв сканування* [Інтернет джерело]. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/45549/1/4922-9780-1-SM.pdf> (дата звернення: 28.04.2018)
5. Теоретичні основи поверхностей [Інтернет джерело]. URL:<http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/guide-books/extensions/3d-analyst/fundamentals-of-3d-surfaces.htm> (дата звернення: 29.04.2018)
6. SRTM (ЦМР) України [Інтернет джерело]. URL: <http://mapgroup.com.ua/services/32-dem-ukraine/83-srtmv4> (дата звернення: 28.04.2018)
7. Метод прямого розрахунку [Інтернет джерело]. URL: <https://studfiles.net/preview/5083029/page:8/> (дата звернення: 5.06.2018)
8. Черкесов, Е. Н. Применение воздушного лазерного сканирования в нефтегазовой отрасли / Е. Н. Черкесов // Геопрофи.- 2006. — №4. — С. 57 — 58.

AN AIRBORNE LASER SCANNING IS A BASIC FOR TOPOGRAPHIC PLANS AND
THREE-DIMENSIONAL MODELS OF CONSTRUCTIONS

Khomiak Anna, National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, PhD in technical science, Associate Professor, akhomjak@gmail.com, +380673990164, <http://orcid.org/0000-0002-2483-8153>

Omelchuk Sibilla, National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, PhD in technical science, Associate Professor, sib-@ukr.net, +380974403827, <http://orcid.org/0000-0003-2191-1551>

Neizvestna Natalia, National Transport University, Department of Road Designing, Geodesy and Land Management, PhD in technical science, Associate Professor, supernesh@ukr.net, +380957970158, <http://orcid.org/0000-0003-2406-3906>

Feshchenko Anna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Engineering and Management
e-mail: fanna17@ukr.net, tel. +380677441754, Ukraine, 01010, m. Kiyiv, street Mikhail Omelyanovich-Pavlenka, 1, <https://orcid.org/0000-0002-8212-5362>

Nabilskyi Oleksandr, National Transport University, Transport construction department, speciality «Geodesy», student, Geodesy and Land Management, nabilskaa@gmail.com, +380635996370, <https://orcid.org/0000-0001-5043-9415>

Summary: An Airborne laser scanning allowed to get the cloud of points with clearly defined spatial coordinates. If that cloud is classified, the various models could be created based on received information.

Nowadays, 3D models of buildings are used in a variety of industries for analysis and different processes development forecasting, connected with buildings. It explains why the methods of creating 3D models should be researched and algorithms of its developing should be created.

The Airborne laser scanning is researched in the paper, analysis of data (the cloud of points) processing is done in programs that allowed to create information system

Key words: lidar, scanning, laser, cloud of points, 3D model, information model.

References

1. Budanov P. F. Lidars. Main features and perspectives of implementing at examples of military weapon and military machines. / P. F. Budanov, M. P. Budanov, B. O. Demydov //Arms and military equipment systems. — 2008. — № 1. — p. 30-37.
2. A schematic diagram of 3D remote sensing [Інтернет джерело] URL:https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-diagram-of-3D-remote-sensing-using-helicopter-borne-and-ground-based-scanning_fig1_6763758
3. Laser scanning as a source of data for Digital Relief Model [Internet source] URL:<https://studfiles.net/preview/6440954/page:33/>
4. Mamonov K.A. etc Principals of mobile laser devices functioning [Internet source]. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/45549/1/4922-9780-1-SM.pdf>
5. Theoretical basis of surfaces[Internet source]. URL:<http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/guide-books/extensions/3d-analyst/fundamentals-of-3d-surfaces.htm> (дата звернення: 29.04.2018)
6. SRTM of Ukraine [Internet source]. URL: <http://mapgroup.com.ua/services/32-dem-ukraine/83-srtmv4> (дата звернення: 28.04.2018)
7. Method of direct calculation [Internet source]. URL: <https://studfiles.net/preview/5083029/page:8/> (дата звернення: 5.06.2018)
8. Cherkesov E.N Implementing airborne laser scanning Применение воздушного лазерного сканирования in the oil and gas industry / E.N. Cherkesov //Geoprof.- 2006. — №4. — p. 57 — 58.