

УДК 528

Я. ВАШ<sup>1</sup>, Ю. ГУБАР<sup>2</sup>, Б. ЧЕТВЕРІКОВ<sup>2</sup>, І. КАЛИНИЧ<sup>1</sup><sup>1</sup> Ужгородський національний університет, Ужгород, 88000, Україна<sup>2</sup> Інститут геодезії, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

## ПОРІВНЯННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ, ПОБУДОВАНИХ ЗА МАТЕРІАЛАМИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

Мета роботи – оцінити точність та функціональність 3D-моделі, отриманої в результаті 3D-сканування та постоброблення. У статті розглянуто методи 3D-моделювання та їх характеристики. Досліджено послідовність роботи із 3D-сканером та наведено його принцип роботи. Виконано постоброблення даних сканування зі створенням 3D-моделей різної точності. Обладнання, за допомогою якого виконано сканування, – наземний лазерний сканер FARO Focus Laser S150. Для здійснення постобробки використано програмне забезпечення SCENE. Об'єктом для сканування наземним лазерним сканером були шість однакових зрубів деревини. Визначено функціональність та точність моделей. Тривимірне сканування об'єктів дослідження здійснено з шести станцій для отримання повношкірної хмари точок. На кожній станції прилад встановлювали в робоче положення за горизонтальним рівнем за допомогою показів інклінометра. Сканування виконували після вибору відповідного режиму знімання. Ураховано, що під час сканування жоден об'єкт не може торкатися дзеркального блока, адже під час роботи сканер обертається за годинниковою стрілкою на 180 градусів. Сканування у цьому дослідженні виконували із кольором, тому сканер обертався на 360 градусів. За даними наземного лазерного сканування побудовано 3D-моделі зрізаних стовбурів дерев однакового розміру, усі моделі різної точності для порівняння і визначення оптимальної за достовірністю і навантаженням. Отримані результати досліджень, як і сама методика, можуть використовувати в лісогосподарському ділі лісництва та різні структури, пов'язані з аналізом деревини. Якщо розглядати лише нашу галузь, ці дослідження можуть бути корисними також для кадастру паркових територій тощо. У ході дослідження отримано 3D-моделі із різними точностями і об'ємом пам'яті, які можна застосовувати для вирішення відповідних завдань. Функціональність використання моделей полягає у виборі кількості полігонів, які впливатимуть на об'єм пам'яті. Необхідно зазначити, що функціональність моделей полягає у зручності їх використання на будь-якому пристрої, порівняно із хмарами точок, які є вимогливими до апаратної складової комп'ютера. Точність моделей у всіх випадках висока. Це дає змогу застосовувати їх для розв'язання багатьох задач з урахуванням потреб. Можна зробити висновок, що використання моделей актуальне, зважаючи на високу точність та функціональність.

*Ключові слова:* полігональне моделювання; тривимірна графіка; 3D-сканування; хмара точок; 3D-модель.

### Вступ

Технологія 3D-моделювання дає змогу створити детальну масштабовану копію об'єкта за даними вимірювань геометричних параметрів, побудувавши тривимірні моделі будівель, споруд, обладнання та, якщо необхідно, рельєфу прилеглої території.

Тривимірні геозображення (3D-модель) – це графічні моделі, що дають зоровий ефект об'ємності, перспективи, глибини простору. У сучасній геодезії та картографії використовують сучасне геодезичне обладнання, зокрема прилади наземного лазерного сканування, фотограмметричні програмні комплекси, ГІС-технології. Це істотно спростило та прискорило фіксацію інформації, що забезпечило моніторинг археологічних об'єктів дистанційними методами, підвищило достовірність та поліпшило якість одержуваних

матеріалів для виконання комплексних спеціалізованих досліджень.

Метод наземного лазерного сканування описує цифрову тривимірну модель об'єкта, подаючи її набором точок із просторовими координатами. Отриманий набір точок називається "хмара точок" і згодом може бути поданий у вигляді тривимірної моделі об'єкта. Істотний недолік цього методу – значна вартість обладнання, проте він оптимальний для вирішення прикладних завдань, у яких потрібна висока точність вимірів.

Можна виділити такі основні види 3D-моделювання: каркасне, поверхневе та твердолітне.

Каркасне моделювання – це найпростіший із видів моделювання. Моделі, що отримують за допомогою каркасного моделювання, називають дротяними або



масштабними – вони утворюються з ліній, дуг та сегментів. Отримані зображення не здатні передати інформацію ні щодо обсягу, ні щодо структури об'єкта, проте можна вивчити його функціональність. Однією з основних переваг цього методу моделювання є невеликий розмір отриманих файлів та збереження оперативної пам'яті на комп'ютері [<https://koloro.ua/ua/blog/3d-technologii/vidy-3d-modelirovaniya-poligonalnoe-modelirovanie-inurbs-modelirovanie.html>].

Наступний вид – поверхневе моделювання. Основна його відмінність від каркасного моделювання – те, що лінії, дуги та сегменти доповнено поверхнями, які утворюють контур об'єкта.

Твердолітне моделювання – найточніший вид моделювання. Результатом цього методу є повноцінний зображення готового об'єкта, що містить всі дані про нього. Зображення, отримані за допомогою цього методу, займають найбільше оперативної пам'яті порівняно з двома вищенаведеними методами, проте, якщо використати цей вид моделювання, результатом буде повний опис готового об'єкта [Lyashenko and al., 2016].

У сучасному світі 3D-моделі застосовують майже у всіх галузях. Умовно можна виділити чотири рівні складності 3D-зображень.

Найпростіший не відтворюватиме інформацію про структуру та не передаватиме дрібні деталі.

Другий – складніший, інформація про об'єкт в цьому буде детальнішою.

Третій рівень, відповідно, ще складніший. Він створить складну неоднорідну структуру.

А ось четвертий рівень складності 3D-моделювання набув великого поширення поміж інженерів. Цей рівень зможе відтворити 3D-моделі найскладніших об'єктів із найбільшою точністю.

З вищенаведеного зрозуміло, що рівні складності 3D-моделювання безпосередньо співвідносяться з видами 3D-моделювання – каркасне моделювання буде створене у перших двох рівнях складності, поверхневе моделювання – це третій рівень складності та, відповідно, твердолітне моделювання передбачає четвертий рівень складності 3D-зображень.

З'єднавши велику кількість точок гранями та утворивши полігони, отримаємо тривимірну модель. І що більше буде полігонів, то детальнішою та з плавнішими переходами буде одержана модель. Отже, полігони – це основа в тривимірній графіці. Редактори для 3D-моделювання використовують здебільшого полігони, представлені трикутниками чи чотирикутниками [Герасін & Петренко, 2014].

Сьогодні виділяють чотири категорії алгоритмів у моделюванні: полігональне, сплайнове, моделювання за допомогою сабдивів та процедурне моделювання.

Полігональне моделювання (рис. 1) – вершини у тривимірній системі координат об'єднані лініями (ребрами), за законом створення геометричних площин, що

генерують поверхню. Однак багатокутники – це двовимірні об'єкти, вони плоскі й тільки приблизно відтворюють вигнуту поверхню тривимірного об'єкта. Тесе́ля́ція – це спосіб трансформування гладких поверхонь у багатокутники [Райковська & Головня, 2013].

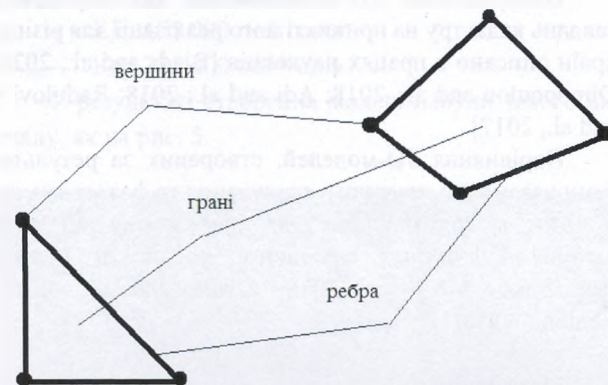


Рис. 1. Елементи полігонального моделювання

Сплайнове моделювання передбачає створення 3D-моделі за допомогою сплайна – тривимірної кривої. Сплайни задають комплексом контрольних точок, що визначають гладкість кривої. Всі сплайни зводять до єдиного кістяка, на основі якого і формується 3D-модель. Можна виділити такі примітиви сплайнів: лінії, дуги, спіралі, кола, кільця, еліпси тощо.

Сабдиви (з англ. – дроблення) – це щось середнє між параметричними поверхнями та полігонами. Під параметричною поверхнею розуміють таку поверхню, що описується математично, і тому, за будь-якого наближення до неї, буде ідеально гладкою [Gonzalez, 1992].

Моделювання за допомогою сабдивів – це один із сучасних алгоритмів, який прогресивно розвивається та створює дедалі більшу конкуренцію двом попереднім методам.

Процедурне моделювання – загальний термін для низки методів комп'ютерної графіки для створення 3D-моделей та текстур на основі наборів правил. Набір правил може бути вбудований в алгоритм, що налаштовується за допомогою параметрів, або ж набір правил може бути окремим від механізму оцінки. Отриманий результат називають процедурним контентом. Процедурні моделі часто демонструють розширення бази даних. Це означає, що великі сцени можуть бути згенеровані зі значно меншої кількості правил. Якщо алгоритм видає щоразу один і той самий результат, то його не потрібно зберігати. Часто для цього достатньо запустити алгоритм з тим самим першочерговим випадковим числом [<http://download.autodesk.com/us/3dsmax/2012help/index.html>; Демидов&Вижва, 2010].

Серед закордонних науковців цієї тематики займається багато фахівців, але всі вони доволі вузькоспеціалізовані стосовно напрямку 3D-моделювання. Побудову 3D-моделей за даними наземного лазерного сканування для реконструкції об'єктів, а також моніторинг їх деформацій описано в працях авторів [Lu-



Xingchang&Liu-Xianlin, 2006; Chu and al., 2018; Chen and al., 2010; Zhou and al., 2011].

Використання 3D-моделей, побудованих за даними лазерного сканування для дослідження поверхонь та інфраструктури міст, описано в працях [Zeng&Jiang, 2015; Hendriatiningsih and al., 2015].

Використання 3D-моделювання для вирішення завдань кадастру на прикладі його реалізації для різних країн описано в працях науковців [Bieda and al., 2020; Dimopoulou and al., 2018; Adi and al., 2018; Radulović and al., 2017].

Порівняння 3D-моделей, створених за результатами наземного лазерного сканування та фотограмметричним методом із метою збереження об'єктів історико-культурної спадщини, подано в працях [Burdziakowski&Tysia, 2019; Owda and al., 2018; Remondino, 2011].

### Мета роботи

Мета роботи – оцінити точність та функціональність 3D-моделі, отриманої в результаті 3D-сканування та постоброблення.

### Методика та результати досліджень

У роботі подано результати дослідження, а саме оцінювання функціональності та точності 3D-моделі, отриманої в результаті здійсненого 3D-сканування та постоброблення.

Обладнання, за допомогою якого виконано сканування. – FARO Focus Laser S150.

Програмне забезпечення для постоброблення – SCENE.

SCENE автоматично поєднує сканування у спеціальні кластери для автоматизації, реєстрації сканів. SCENE – це комплексне оброблення та управління хмарами точок, отриманими в результаті сканування.

Тривимірне сканування об'єктів дослідження виконано з шести станцій для отримання повноцінної хмари точок. На кожній станції прилад встановлювали в робоче положення, використовуючи горизонтальний рівень, за допомогою показів інклінометра (табл. 1).

Таблиця 1

### Значення відхилення інклінометра

Назва кластера/скана	Назва скана	Похибка, градусів
Scan_114	Scan_114	0.0030
Scan_112	Scan_112	0.0062
Scan_109	Scan_109	0.0095
Scan_113	Scan_113	0.0092
Scan_111	Scan_111	0.0045
Scan_108	Scan_108	0.0071

Сканування здійснено після вибору відповідного режиму знімання. Ураховано, що під час сканування жоден об'єкт не може торкатися дзеркального блока, адже під час роботи сканер обертається за годинниковою

стрілкою на 180 градусів. Сканування у цьому дослідженні виконували із кольором, тому сканер обертався на 360 градусів (рис. 2).

Об'єктом сканування були шість однаково висотних стовбурів дерев, для подальшого дослідження 3D-моделей (рис. 3).

Перед початком сканування на сторінці “проєкти кластери” відображається структура реальних проєктів сканування, що складається з основного пакета проєкту, який містить декілька підпроєктів або ж їх скупчень. Перед запуском сканування запроваджено кластерну систему, адже вона дає змогу значно полегшити оброблення даних – відсіює зайві точки для кожного кластера, забезпечує послідовність та логічність на всіх стадіях роботи.

У результаті знімань на кожній з шести станцій отримано такі мінімальні та максимальні похибки і відсоток мінімальних перекриттів, що наведені в табл. 2.

Таблиця 2

### Загальні статистичні дані станцій сканування

Назва кластера/скану	Зв'язки	Максимальна похибка точок, мм	Мінімальна похибка точок, мм	Мінімальне перекриття, %
Scan_108	5	0.8	0.7	85.9
Scan_109	5	0.8	0.7	85.9
Scan_111	5	0.8	0.7	86.1
Scan_112	5	0.8	0.7	85.9
Scan_113	5	0.8	0.7	85.9
Scan_114	5	0.7	0.7	85.9

Для отримання задовільного результату вибору таке розташування станцій, щоб відсоток перекриття між ними був найбільшим. Дані перекриття між станціями сканування наведено в табл. 3.

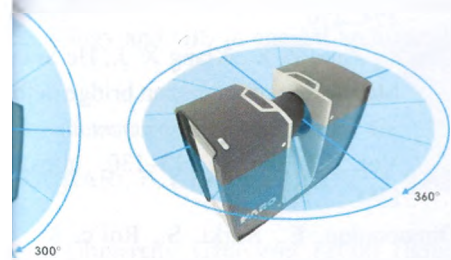
Таблиця 3

### Статистичні дані між станціями сканування

Кластер/скан 1	Кластер/скан 2	Похибки точок, мм	Перекриття, %
Scan_109	Scan_108	0.7	86.3
Scan_109	Scan_111	0.8	90.3
Scan_109	Scan_113	0.8	85.9
Scan_111	Scan_108	0.8	86.1
Scan_112	Scan_108	0.7	86.5
Scan_112	Scan_109	0.7	90.3
Scan_112	Scan_111	0.8	87.9
Scan_112	Scan_113	0.8	87.9
Scan_113	Scan_108	0.7	86.1
Scan_113	Scan_111	0.7	92.9
Scan_114	Scan_108	0.7	85.9
Scan_114	Scan_109	0.7	90.3
Scan_114	Scan_111	0.6	92.5
Scan_114	Scan_112	0.7	87.1
Scan_114	Scan_113	0.7	89.5

Після сканування та постоброблення отримано хмару точок. Для подальшого дослідження визначено потрібну частину області сканування (рис. 4).





2. Схема роботи сканера FARO

У програмному забезпеченні SCENE ми використали функцію “creative mesh” для створення 3D-моделі полігональним методом. Для порівняння результатів створено три моделі, які за точністю містять таку кількість полігонів на одну 3D-модель:

- 1 до 82 500 полігонів;
- 1 до 175 000 полігонів;
- 1 до 325 000 полігонів.

У результаті створення моделі набули такого вигляду, як на рис. 5.



Рис. 3. Об'єкт сканування

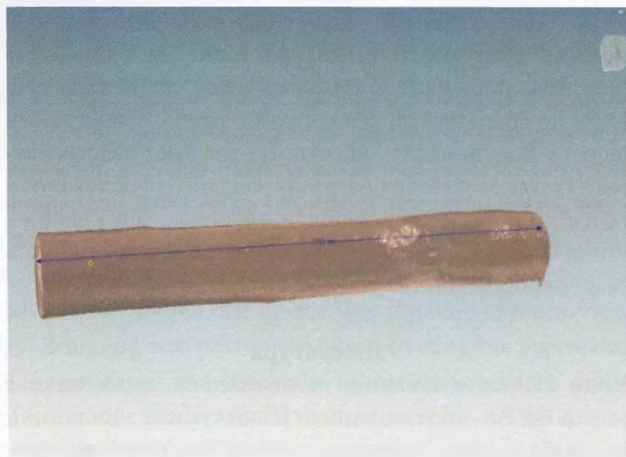


Рис. 5. 3D-модель, отримана у результаті сканування та постобробки

Для оцінювання точності та функціональності моделей створено таблицю, яка відображає параметри розміру файлу для порівняння функціональності та довжини ребер полігонів, які відповідають за точність моделей.

Таблиця 4

**Порівняльна таблиця отриманих 3D-моделей з боку точності та функціональності**

№ з/п	К-сть полігонів	Розмір, Мб	Довжина ребра, мм
1	82 500	4	5.5025
2	175 000	8.5	3.6907
3	325 000	15	3.1476

Залежно від поставленого завдання потрібно створювати моделі з потрібною кількістю полігонів для забезпечення необхідної точності та функціональності.

**Наукова і практична значущість**

За даними наземного лазерного сканування побудовано 3D-моделі зрізаних стовбурів дерев однакового розміру. Всі моделі різної точності для порівняння і визначення оптимальної за достовірністю і навантаженням. Отримані результати досліджень, як і сама



Рис. 4. Частина області сканування



методика, можуть використовувати в лісгосподарському ділі лісництва та різні структури, пов'язані з аналізом деревини. Також, якщо розглядати лише нашу галузь, ці дослідження можуть бути корисними для кадастру паркових територій тощо.

### Висновки

У ході дослідження сформовано 3D-моделі із різними точностями і об'ємом пам'яті, які можна застосовувати для вирішення відповідних завдань. Функціональність використання моделей полягає у виборі кількості полігонів, які впливатимуть на об'єм пам'яті. Необхідно зазначити, що функціональність моделей полягає в зручності їх використання на будь-якому пристрої, порівняно з хмарами точок, які є вимогливими до апаратної складової комп'ютера. Точність моделей у всіх випадках висока. Це дає змогу застосовувати їх для вирішення багатьох завдань із урахуванням потреб. Отже, можна зробити висновок, що використання моделей актуальне, зважаючи на високу точність та функціональність.

### Література

- Види 3D-моделювання: полігональне, сплайнове, і NURBS-моделювання [Електронне видання]. URL: <https://koloro.ua/ua/blog/3d-tehnologii/vidy-3d-modelirovaniya-poligonalnoe-splajnovoe-inurbs-modelirovanie.html>
- Герасін О. І., Петренко О. Я. (2014). Моделювання тривимірних об'єктів засобами 3DSMax. Київ. С. 20–25.
- Демидов В., Вишва А. (2010) Статистичне моделювання випадкових полів на площині сплайновими апроксимаціями на прикладі даних аеромагнітометрії. *Геологія*, 51.
- Райковська Г. (2013) Геометричне моделювання – основа конструкторсько-технологічних здібностей. *Нова педагогічна думка*, № 1.2. С. 68–70. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npd\\_2013\\_1\\_2\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npd_2013_1_2_19)
- Adi, R., Shnaidman, A., Barazani, S. (2018) Implementation of the 3D Cadastre in Israel. In: *Proceedings of the 6th International Workshop on 3D Cadastres*, Delft, The Netherlands, 2–4 October 2018: 155–176.
- Autodesk 3ds Max 2012 Help URL: <http://download.autodesk.com/us/3dsmax/2012help/index.html>.
- Bieda A., Bydłoz J., Warchoń A., Balawejder M. (2020). Historical Underground Structures as 3D Cadastral Objects. *Remote Sensing*, 12(10):1547. <https://doi.org/10.3390/rs12101547>
- Burdziakowski, P.; Tysia, c, P. (2019). Combined Close Range Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for Ship Hull Modelling. *Geosciences*, 9, 242.
- Chen M. G., Chen C. S., Wu C. T. (2010). Monitoring of sag deformation in suspension bridges using a 3D laser scanner. *Circulation Research*, Vol. 115, No. 3, 475–479.
- Chu X., Zhou Z. X., Xiang X. J., He S. L., Hou X. (2018). Monitoring of long-span bridge deformation based on 3D laser scanning. *Instrumentation Measure Metrology*. Vol. 17, No. 1, 113–130. <https://doi.org/10.3390/I2M.17.113-130>
- Dimopoulou, E., Karki, S., Roi'c, M., De Almeida, J., Grith-Charles, C., Thompson, R., Ying, S., Paasch, J., van Oosterom, P. (2018). 3D Cadastres Best Practices, Initial Registration of 3D Parcels. In *Proceedings of the FIG Congress, Istanbul, Turkey*, 6–11 May 2018.
- Hendriatiningsih S., Suwardhi D., and Januragadi. (2020). 3D model based on terrestrial laser scanning (TLS) case study: The cangkuang temple, Garut district, West Java, Indonesia. *J. Eng. Technol. Sci.*, Vol. 47, No. 1, 1–19.
- Gonzalez, R., Woods R. (1992). *Digital Image Processing*. Addison Wesley Longman. AWL, Inc. Погано без назви. URL: 202.197.67.17/yxtxcl/xtysj/answer.pdf.
- Lyashenko V., Matarneh R., Baranova V, Deines Z. (2016) Hurst Exponent as a Part of Wavelet Decomposition Coefficients to Measure Long-term Memory Time Series Based on Multiresolution Analysis. *American Journal of Systems and Software*. Vol. 4(2), 51–56.
- Lu-Xingchang, Liu-Xianlin (2006). Reconstruction of 3D Model Based on Laser Scanning. In: Abdul-Rahman, A., Zlatanova, S., Coors, V. (eds) *Innovations in 3D Geo Information Systems. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-36998-1\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-540-36998-1_25)
- Owda, A., Balsa-Barreiro, J., Fritsch, D. (2018). Methodology for digital preservation of the cultural and patrimonial heritage: Generation of a 3D model of the Church St. Peter and Paul (Calw, Germany) by using laser scanning and digital photogrammetry. *Sens. Rev.*, 38, 282–288.
- Radulović, A., Sladić, D., Govedarica, M. (2017). Towards 3D Cadastre In Serbia: Development of Serbian Cadastral Domain Model. *ISPRS Int. J. Geo Inf.*, 6, 312.
- Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sens.*, 3, 1104–1138.
- Zeng K., Jiang Y. (2015). Application of 3D laser scanning technology in surface subsidence monitoring. *Surveying and Mapping of Geology and Mineral Resources*, Vol. 13, No. 2, 13–18. <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1007-9394.2015.02.008>

Li H., Zhu D., Qu H. (2011). The application of 3D laser scanning technology and GIS in ancient architecture

protection. *Geotechnical Investigation & Surveying*, Vol. 39, No. 6, 73–77.

VASH<sup>1</sup>, Yu. GUBAR<sup>2</sup>, B. CHETVERIKOV<sup>2</sup>, I. KALYNYCH<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Uzhhorod National University, Uzhhorod, 88000, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Geodesy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine

#### COMPARISON OF CREATION 3D-MODELS OF OBJECTS BASED ON MATERIALS FROM TERRASTRIAL LASER SCANNING

The purpose of the work was to assess the accuracy and functionality of the 3D-model obtained as a result of 3D-scanning and post-processing. The article discusses 3D-modeling methods and their characteristics. The procedure of working with a 3D-scanner is studied and its principle of operation is given. Scan data was post-processed to create models of varying accuracy. The equipment used for the scanning is a FARO Focus Laser S150 terrestrial laser scanner. PCNE was used for post-processing. The object for scanning with a ground laser scanner was six identical logs of wood. The functionality and accuracy of the models are determined. Three-dimensional scanning of the research objects was carried out from six stations to obtain a full-fledged point cloud. At each station, the device was installed in the working position on the horizontal level using the inclinometer readings. Scanning was performed after selecting the appropriate scanning mode. It was taken into account that during scanning, no object can touch the mirror unit, because during rotation, the scanner rotates clockwise by 180 degrees. Scanning in this study was carried out in color, so the scanner scanned 360 degrees. Based on ground laser scanning data, 3D-models of cut tree trunks of the same size were built. All models are built with different accuracy for comparison and determination of the optimal one in terms of reliability and accuracy. The obtained research results, as well as the technique itself, can be used in forestry by forestry and various structures related to wood analysis. Also, if we consider only our industry, the research data can be useful for the cadastre of park territories, etc. In the course of the conducted research, 3D-models with different accuracies and memory volumes were created, which can be used to solve the relevant tasks. The functionality of using models consists in choosing the number of polygons that will affect the amount of memory. It should be noted that the functionality of the models lies in the convenience of their use on any device, compared to point clouds, which are demanding on the hardware component of a computer. The accuracy of the models is high in all cases. This makes it possible to use them to solve many problems, taking into account the needs. So, we can conclude that the use of models is relevant due to high accuracy and functionality.

**Key words:** polygonal modeling; three-dimensional graphics; 3D-scanning; point cloud; 3D-model.

#### References

- Barazani, S., Shnaidman, A., Barazani, S. (2018). Implementation of the 3D Cadastre in Israel. In *Proceedings of the 6th International Workshop on 3D Cadastres*, Delft, The Netherlands, 2–4 October 2018; 155–176.
- Autodesk 3ds Max 2012 Help. URL: <http://download.autodesk.com/us/3dsmax/2012help/index.html>.
- Bydłoz J., Warchoń A., Balawejder M. (2020) Historical Underground Structures as 3D Cadastral Objects. *Remote Sensing*; 12(10):1547. <https://doi.org/10.3390/rs12101547>
- Chyżakowski, P.; Tysiąc, P. (2019). Combined Close Range Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for Ship Hull Modelling. *Geosciences*, 9, 242.
- Chen M. G., Chen C. S., Wu C. T. (2010). Monitoring of sag deformation in suspension bridges using a 3D laser scanner. *Circulation Research*, Vol. 115, No. 5, 475–479.
- Chen X., Zhou Z.X., Xiang X.J., He S.L., Hou X. (2018). Monitoring of long-span bridge deformation based on 3D laser scanning. *Instrumentation Measure Metrologie*, Vol. 17, No. 1, 113–130. <https://doi.org/10.3166/I2M.17.113-130>
- Chydyov V., Vyzhva A. (2010) Statystychnе modeliuвання vypadkovykh poliv na ploshchyni splainovymy aproksymatsiiamy na prykladi danykh aeromahnitometrii, *Heolohiia*, 51.
- Chydyov V., Karkis, S., Roić, M., De Almeida, J., Grith-Charles, C., Thompson, R., Ying, S., Paasch, J., van Oosterom, P. (2018). 3D Cadastres Best Practices, Initial Registration of 3D Parcels. In *Proceedings of the FIG Congress*, Istanbul, Turkey, 6–11 May 2018.
- Chydyov V., Petrenko O. Ia. (2014). Modeliuвання tryvymirnykh ob'ektiv zasobamy 3D-SMax. *Kyiv*, 20–25.



- Hendriatiningsih S., Suwardhi D., and Januragadi (2015). 3D model based on terrestrial laser scanning (TLS) case study: The cangkuang temple, Garut district, West Java, Indonesia. *J. Eng. Technol. Sci.*, Vol. 47, No. 1, 1–19.
- Gonzalez, R., Woods R. (1992) *Digital Image Processing*. Addison Wesley Longman. AWL, Inc. URL: [202.197.67.17/yxtxcl/xtysj/dip\\_answer.pdf](https://doi.org/10.1002/197.67.17/yxtxcl/xtysj/dip_answer.pdf).
- Lyashenko V., Matameh R., Baranova V., Deineko Zh. (2016) Hurst Exponent as a Part of Wavelet Decomposition Coefficients to Measure Long-term Memory Time Series Based on Multiresolution Analysis. *American Journal of Systems and Software*, Vol. 4(2), 51–56.
- Lu-Xingchang, Liu-Xianlin (2006). Reconstruction of 3D Model Based on Laser Scanning. In: Abdul-Rahman, A., Zlatanova, S., Coors, V. (eds) *Innovations in 3D Geo Information Systems. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-36998-1\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-540-36998-1_25)
- Owda, A., Balsa-Barreiro, J., Fritsch, D. (2018). Methodology for digital preservation of the cultural and patrimonial heritage: Generation of a 3D model of the Church St. Peter and Paul (Calw, Germany) by using laser scanning and digital photogrammetry. *Sens. Rev.*, 38, 282–288.
- Raikovska H., Holovnia V. (2013). Heometrychne modeliuвання – osnova konstruktorsko-tehcnolohichnykh zdobutok. *Nova pedahohichna dumka*, No. 1.2, 68–70. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npd\\_2013\\_1.2\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npd_2013_1.2_19)
- Radulović, A., Sladić, D., Govedarica, M. (2017). Towards 3D Cadastre In Serbia: Development of Serbian Cadastre Domain Model. *ISPRS Int. J. Geo Inf.*, 6, 312.
- Remondino F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sens.*, 3, 1130–1138.
- Zeng K., Jiang Y. (2015). Application of 3D laser scanning technology in surface subsidence monitoring. *Surveying and Mapping of Geology and Mineral Resources*, Vol. 13, No. 2, 13–18. <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1671-9394.2015.02.008>
- Zhou H., Zhu D., Qu H. (2011). The application of 3D laser scanning technology and GIS in ancient architecture protection. *Geotechnical Investigation & Surveying*, Vol. 39, No. 6, 73–77
- Vydy 3D-modeliuвання: polihonalne, splainove, i NURBS-modeliuвання. URL: <https://koloro.ua/ua/blog/3d-tehnologii/vydy-3d-modelirovaniya-poligonalnoe-splajnovoe-inurbs-modelirovanie.html>

## ДИВИТИСЯ НА ПЛАНЕТУ ОЧИМА АСТРОНАВТА

- дистанційне зондування землі
- аерокосмічні знімальні системи
- супутникові наземні приймальні станції
- спектральні перетворення та класифікація зображень

Бурштинська Х. В., Станкевич С. А., Денис Ю. В.  
ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ  
Книга 2  
Підручник.

Видавництво Львівської політехніки, 2019. 216 с.  
ISBN 978-966-941-416-8

