

**Янчук О. Є., к.т.н., доцент, Шульган Р. Б., к.т.н., доцент, Кібиш А. В., студент, Лазарець О. В., студент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ПОРІВНЯННЯ ТОЧНОСТІ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ СТОВРЕНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ LIDAR IPHONE 12 PRO ТА IPHONE 13 PRO MAX**

У дослідженні проведено порівняльний аналіз точності тривимірних моделей, створених за допомогою системи LIDAR мобільних пристроїв iPhone 12 Pro та iPhone 13 Pro Max. Виконано сканування та побудовано тривимірну модель музейного геодезичного приладу – теодоліта «М. Таубер, К. Цветков и Ко». Сканування здійснено з використанням програмного забезпечення Scaniverse. Для оцінки точності лінійкою виміряно розміри чітких контурів приладу, які прийнято за еталонні. У програмі CloudCompare виміряно розміри тих же контурів за тривимірними моделями отриманими за допомогою датчиків LIDAR iPhone 12 Pro та iPhone 13 Pro Max. Розраховано відхилення виміряних значень за тривимірними моделями від еталонних та обчислено відповідні середні квадратичні похибки. Отримано наступні результати за вимірюваннями чітких контурів: середня квадратична похибка габаритних розмірів основних конструктивних елементів LIDAR iPhone 12 Pro – 1,8 мм; LIDAR iPhone 13 Pro Max – 1,7 мм.

**Ключові слова:** 3D-модель; оцінка точності; середня квадратична похибка; LIDAR; iPhone.

**Постановка проблеми.** Сучасні технології смартфонів у постійному розвитку, що відкриває багато можливостей для застосування їх у різних сферах. Не винятком є і геодезія, картографія та геоінформаційні системи. Наприклад, значним досягненням компанії Apple є оснащення її флагманів, з 2020 року, датчиками LIDAR. Вони можуть використовуватися для різноманітних задач, як покращення якості фотографій і відео, так і формування тривимірних моделей об'єктів [3]. Даний функціонал є цікавим та корисним, але встановлення конкретного цільового призначення створених моделей потребує подальших досліджень.

Чи можна використовувати ці моделі для виробництва та вирішення геодезичних/геоінформаційних задач є актуальним питанням та потребує дослідження точності сканування об'єктів.

Саме слово LIDAR (Light Detection and Ranging) можна описати як «використання світла для виявлення та вимірювання відстаней». Основний принцип дії технології LIDAR полягає в наступному: випромінюються світлові промені та засікається, скільки часу потрібно цим променям на відбиття від об'єктів та повернення назад. Цей процес дозволяє досягти високої точності у визначенні відстаней до об'єктів [2].

**Аналіз літератури.** Застосування датчиків LIDAR є новітньою технологією і тому є предметом активних досліджень академічної спільноти.

Наприклад, у статті [7] досліджено з якою точністю система LIDAR сканує різні текстури покриттів. Проведено дослідження можливостей застосування отриманих 3D моделей для завдань в таких сферах, як архітектура, інженерія та будівництво. За допомогою iPhone 12 Pro проведено кілька тестів із різними матеріалами поверхні – фанера, алюміній, полотно, пластикова дошка та керамічна плитка. Щільність 3D-хмар точок і точність вимірювань відстані, згенерованих iPhone 12 Pro, порівнювалися з результатами одержаними геодезичним лазерним сканером. Згідно з результатами тестування, датчик LiDAR iPhone 12 Pro зміг створити хорошу щільність 3D-хмар точок. Точність сканування знаходиться в межах 5–32 мм для об'єктів розміром до 1 м.

Також у статті [6] досліджуються основні технічні можливості датчиків LIDAR і тестується точність сканування на прикладі прибережної скелі в Данії. Результати порівнюють з іншими хмарами точок. Точність сканування знаходиться в межах 10–30 см для скелі розміром 130\*15\*10 метрів. Зроблено висновок, що пристрої Apple LiDAR можуть бути економічно ефективною альтернативою усталеним методам дистанційного зондування з можливими сферами застосування для широкого спектру геонаукових задач.

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що точність сканування залежить від розмірів об'єкта сканування, його матеріалу та відстані до нього. У більшості публікацій досліджується точність сканування об'єктів значних розмірів. Тому вважаємо доцільним дослідити точність побудови тривимірних моделей невеликого розміру.

**Постановка завдання.** Виробник не заявляє про відмінності у датчиках LIDAR різних моделей пристроїв, однак їх технічні

характеристики відрізняються. Це може впливати на швидкість захоплення та опрацювання даних. Тому вважаємо за доцільне порівняти точність сканування різними моделями смартфонів, зокрема iPhone 12 Pro та iPhone 13 Pro Max. За об'єкт сканування вибрано музейний експонат – теодоліт «М. Таубер, К. Цветков и Ко», який вважається невеликим об'єктом.

**Виклад основного матеріалу.** Для сканування виконано аналіз існуючого програмного забезпечення, яке має відповідний функціонал та обрано найбільш оптимальну для нашого завдання – Scaniverse [8]. На початку сканування, через меню програми, обрано розмір об'єкта, який планується сканувати (у нашому випадку – «Small Object» (малий об'єкт)). За класифікацією програми сюди відноситься: їжа, іграшки, тварини, квіти тощо. Також у налаштуваннях програми є можливість обрати діапазон у якому буде відбуватись сканування, у даному випадку – 0,8 метра [5]. Після завершення сканування потрібно визначити, як програма має сформувати модель за результатами знімання. Доступно три варіанти вибору. Ми обрали варіант Detail, з фотограметричною точністю, який є рекомендованим програмою для об'єктів з текстурями (рис. 1).

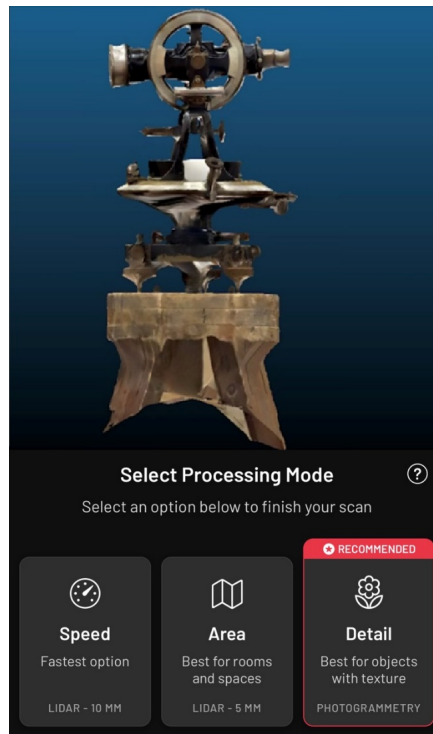


Рис. 1. Вікно програми Scaniverse на етапі вибору процесу моделювання

Отже, виконано сканування теодоліта за допомогою iPhone 12 Pro та iPhone 13 Pro Max. В результаті отримано дві моделі одного об'єкта для порівняння точності знімання вище вказаних смартфонів (рис. 2).

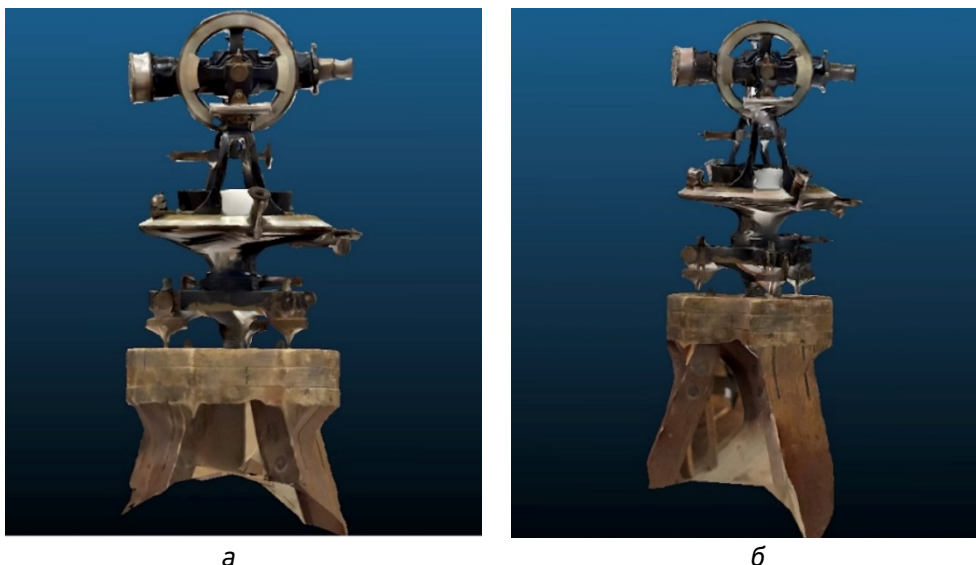


Рис. 2. Тривимірні моделі створені системою LIDAR:  
а – смартфона iPhone 12 Pro; б – смартфона iPhone 13 Pro Max

Отримані моделі є подібними між собою за якістю відтворення об'єкту. Основні конструктивні елементи відсканувалися доволі якісно. Проте обидві моделі приладів мають певні спотворення, змазування, деформації дрібних деталей. Такі помилки можна мінімізувати «прискіпливішим» скануванням, що значно подовжує сам процес, та/або використанням додаткових стабілізуючих пристроїв [4].

Для дослідження точності виконано вимірювання 21 конструктивного елементу приладу, які можна чітко виміряти. Виміряно габаритні розміри основних конструктивних елементів.

Для оцінки точності відсканованих моделей необхідно визначити відхилення розмірів виміряних лінійкою, які прийнято за еталонні, від розмірів виміряних за створеними моделями у програмі CloudCompare.

На основі обчислених відхилень розраховано середню квадратичну похибку габаритних розмірів основних конструктивних елементів за наступною формулою [1]:

$$m = \sqrt{\frac{[V_i V_i]}{n-1}}, \quad (1)$$

де  $V_i$  – відхилення еталонних та визначених розмірів;  $n$  – кількість розмірів.

Отримані відхилення еталонних розмірів основних конструктивних елементів від визначених за моделлю LIDAR iPhone 12 Pro наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Відхилення еталонних розмірів основних конструктивних елементів від визначених за моделлю LIDAR iPhone 12 Pro

Конструктивний елемент приладу	Еталонні розміри, мм	Розміри за моделлю, мм	Відхилення, мм
Довжина зорової труби	191	189	2
Діаметр вертикального круга	105	104	1
Діаметр горизонтального круга	165	163	2
Відстань між ребрами підставки	122	120	2
Довжина рівня при вертикальному крузі	52	51	1
Довжина рівня при горизонтальному крузі	60	58	2
Довжина навідного гвинта	98	97	1
Відстань між колонками зорової труби	88	87	1
Діаметр об'єктива	43	41	2
Висота бусолі	19	17	2
Висота від підставки штатива до горизонтального круга	99	101	-2
Середній навідний гвинт	99	97	2
Верхній навідний гвинт	91	88	3
Закріпний гвинт зорової труби	18	17	1
Фокусувальний гвинт	21	19	2
Окуляр	18	17	1
Зорова труба (ширина)	37	36	1

продовження табл. 1

Висота верхнього закріпного гвинта сітки ниток	8	8	0
Ширина вертикальної колонки зорової труби	17	16	1
Діаметр бусолі	98	95	3
Закріпний гвинт аліади	18	17	1

Отримані відхилення еталонних розмірів основних конструктивних елементів від визначених за моделлю LIDAR iPhone 13 Pro Max наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Відхилення еталонних розмірів основних конструктивних елементів від визначених за моделлю LIDAR iPhone 13 Pro Max

Конструктивний елемент приладу	Еталонні розміри, мм	Розміри за моделлю, мм	Відхилення, мм
Довжина зорової труби	191	188	3
Діаметр вертикального круга	105	103	2
Діаметр горизонтального круга	165	163	2
Відстань між ребрами підставки	122	121	1
Довжина рівня при вертикальному крузі	52	50	2
Довжина рівня при горизонтальному крузі	60	57	3
Довжина навідного гвинта	98	97	1
Відстань між колонками зорової труби	88	88	0
Діаметр об'єктива	43	41	2
Висота бусолі	19	18	1
Висота від підставки штатива до горизонтального круга	99	100	-1
Середній навідний гвинт	99	97	2
Верхній навідний гвинт	91	89	2
Закріпний гвинт зорової труби	18	17	1
Фокусувальний гвинт	21	20	1
Окуляр	18	17	1

продовження табл. 2

Зорова труба (ширина)	37	37	0
Висота верхнього закріпного гвинта сітки ниток	8	8	0
Ширина вертикальної колонки зорової труби	17	16	1
Діаметр бусолі	98	95	3
Закріпний гвинт аліадади	18	17	1

**Висновки.** Отже, в результаті проведеного дослідження встановлено, що середня квадратична похибка габаритних розмірів основних конструктивних елементів виміряних за моделлю отриманою з LIDAR iPhone 12 Pro становить 1,8 мм. Середня квадратична похибка габаритних розмірів основних конструктивних елементів виміряних за моделлю отриманою з LIDAR iPhone 13 Pro Max – 1,7 мм. Незначні відхилення між СКП є впливом випадкових похибок та свідчать про застосування однакового датчика LIDAR у різних моделях iPhone.

В подальших дослідженнях варто розглянути можливість застосування додаткових стабілізуючих пристроїв з метою зменшення деформації дрібних деталей та підвищення точності сканування.

Дана точність побудови моделей за допомогою LIDAR iPhone дозволяє застосовувати даний пристрій для створення тривимірних моделей невеликих об'єктів. Наприклад, для переведення в цифрову форму музейних експонатів, які з часом можуть пошкодитися.

1. Войтенко С. П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів : навч. посіб. К. : КНУБА, 2003. 216 с.
2. Що таке датчик LIDAR для iPhone та iPad. URL: <https://stylus.ua/uk/articles/1467.html> (дата звернення: 10.02.2024).
3. Apple. URL: <https://www.apple.com/ua/> (дата звернення: 10.02.2024).
4. iPhone LiDAR + DJI Gimbal = More Accuracy. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=faYZdcYsVUU> (дата звернення: 10.02.2024).
5. How to Capture & Share in 3D with Scaniverse. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ELXLFMjLOx8> (дата звернення: 10.02.2024).
6. Luetzenburg G., Kroon A., Bjørk A. A. Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. *Scientific Reports*. 2021. № 11. P. 22221. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01763-9> (дата звернення: 10.02.2024).
7. Rizali M. I., Idris A. N., Rizali M. H., Syafuan W. M. Quality assessment of 3D point clouds on the different surface materials

generated from iPhone LiDAR Sensor Int. *J. Geoinformatics*. 2022. Vol. 18. Pp. 51–58. DOI: <https://doi.org/10.52939/ijg.v18i4.2259>. 8. Scaniverse. URL: <https://scaniverse.com/> (дата звернення: 10.02.2024).

## REFERENCES:

1. Voitenko S. P. Matematychna obrobka heodezychnykh vymiriv. Teoriia pokhybok vymiriv : navch. posib. K. : KNUBA, 2003. 216 s.
2. Shcho take datchyk LIDAR dlia iPhone ta iPad. URL: <https://stylus.ua/uk/articles/1467.html> (data zvernennia: 10.02.2024).
3. Apple. URL: <https://www.apple.com/ua/> (data zvernennia: 10.02.2024).
4. iPhone LiDAR + DJI Gimbal = More Accuracy. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=faYZdcYsVUU> (data zvernennia: 10.02.2024).
5. How to Capture & Share in 3D with Scaniverse. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ELXLFMjLOx8> (data zvernennia: 10.02.2024).
6. Luetzenburg G., Kroon A., Bjørk A. A. Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. *Scientific Reports*. 2021. № 11. P. 22221. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01763-9> (data zvernennia: 10.02.2024).
7. Rizali M. I., Idris A. N., Rizali M. H., Syafuan W. M. Quality assessment of 3D point clouds on the different surface materials generated from iPhone LiDAR Sensor Int. *J. Geoinformatics*. 2022. Vol. 18. Pp. 51–58. DOI: <https://doi.org/10.52939/ijg.v18i4.2259>.
8. Scaniverse. URL: <https://scaniverse.com/> (data zvernennia: 10.02.2024).

---

**Yanchuk O. Ye., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Shulhan R. B., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Kibysh A. V., Senior Student, Lazarets O. V., Senior Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## COMPARISON OF THE ACCURACY OF 3-D MODELS CREATED USING THE LIDAR SYSTEM OF IPHONE 12 PRO AND IPHONE 13 PRO MAX

**The article explores the capabilities of LIDAR sensors equipped in modern flagship devices from Apple. An analysis of recent studies reveals that the accuracy of scanning depends on the size of the scanned object, its material, and the distance to it. Most publications focus on the accuracy of scanning large objects. Therefore, this article investigates the accuracy of constructing three-dimensional models of small size, specifically, the museum geodetic instrument – the theodolite «M. Tauber, K. Tsvetkov and Co».**



**A comparative analysis of the accuracy of three-dimensional models created using the LIDAR system of mobile devices iPhone 12 Pro and iPhone 13 Pro Max was conducted. Existing software with the appropriate functionality for scanning was analyzed, and the most suitable program for our task, Scaniverse, was selected. Scanning was performed, and a three-dimensional model of the museum geodetic instrument was constructed. To assess accuracy, the dimensions of clear contours of the instrument were measured using a ruler, which were considered as reference. In the CloudCompare program, the dimensions of the same contours were measured based on the three-dimensional models obtained using LIDAR sensors of iPhone 12 Pro and iPhone 13 Pro Max. Deviations of measured values from reference ones were calculated for three-dimensional models, and corresponding root mean square errors were computed.**

**The following results were obtained for measurements of clear contours: the root mean square error of the dimensional dimensions of the main structural elements for LIDAR iPhone 12 Pro is 1.20 mm; for LIDAR iPhone 13 Pro Max, it is 1.18 mm. The slight deviations between RMS errors are due to random errors and indicate the use of the same LIDAR sensor in different iPhone models. This precision in constructing models using LIDAR on iPhone allows for the application of this device in creating three-dimensional models of small objects. For example, for digitizing museum exhibits that may undergo damage over time.**

***Keywords:* 3-D model; accuracy assessment; mean squared error; LIDAR; iPhone.**