

УДК 528.4

к.т.н., доцент Р.В. Шульц,

Київський національний університет будівництва та архітектури

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ТЕХНІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ МЕТОДУ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

Виконано аналіз сучасних систем наземного лазерного сканування. Розроблено класифікації застосування наземного лазерного сканування в залежності від методів вимірювання відстані, точності сканування та принципу розгортки лазерного променя.

Постановка проблеми. Протягом останніх 5-6 років системи наземного лазерного сканування стрімко увійшли до повсякденної практики виконання геодезичних робіт. На сьогоднішній день ми маємо справу з четвертим поколінням наземних лазерних сканерів, які значно перевершують своїх попередників як за технічними характеристиками так і за ергономічними показниками. Водночас існування різноманітних фірм виробників наземних лазерних сканерів не дозволяє рядовим геодезістам і користувачам геодезичної продукції зупинити свій вибір не тільки на конкретній моделі лазерного сканера і програмного забезпечення але і взагалі іноді ставить під сумнів доцільність використання наземного лазерного сканування при вирішенні конкретних виробничих задач. Тож виконання детального аналізу сучасних можливостей і сфер застосування наземного лазерного сканування є важливим і актуальним завданням.

Огляд останніх публікацій. Найбільш детальне дослідження означеної проблеми було виконано в роботі [1], результатами цього дослідження ми скористаємось в подальшому. Нажаль наведені там результати були дійсні станом на 2006 рік. Більш сучасний стан систем наземного лазерного сканування відображено в монографії [2], яка була підготовлена в 2009 році. Окремі результати в контексті даного дослідження наведені в роботах [3-5]. В цих працях можна знайти посилання на інші публікації, де проведено аналіз окремих характеристик наземного лазерного сканування. На сьогоднішній день відсутній сучасний детальний огляд новітніх розробок в галузі наземного лазерного сканування.

Мета дослідження Поставимо собі за мету виконати аналіз сучасного стану ринку систем наземного лазерного сканування та можливостей сучасних лазерних сканерів.

Виклад основного матеріалу. Використовуючи досвід багатьох користувачів наземних лазерних сканерів та враховуючи появу нових потужних

комп'ютерів можна сказати, що четверте покоління наземних лазерних сканерів дозволило більш вдало використати можливості наземного лазерного сканування. Проте можна зауважити той факт, що наземне лазерне сканування в інженерній геодезії використовується, як додаткове обладнання і з деякою обережністю. Згідно з соціологічними опитуваннями серед виробників, що були проведені в 2006 році основними факторами «проти» лазерного сканування є наступними [1] (рис. 1).

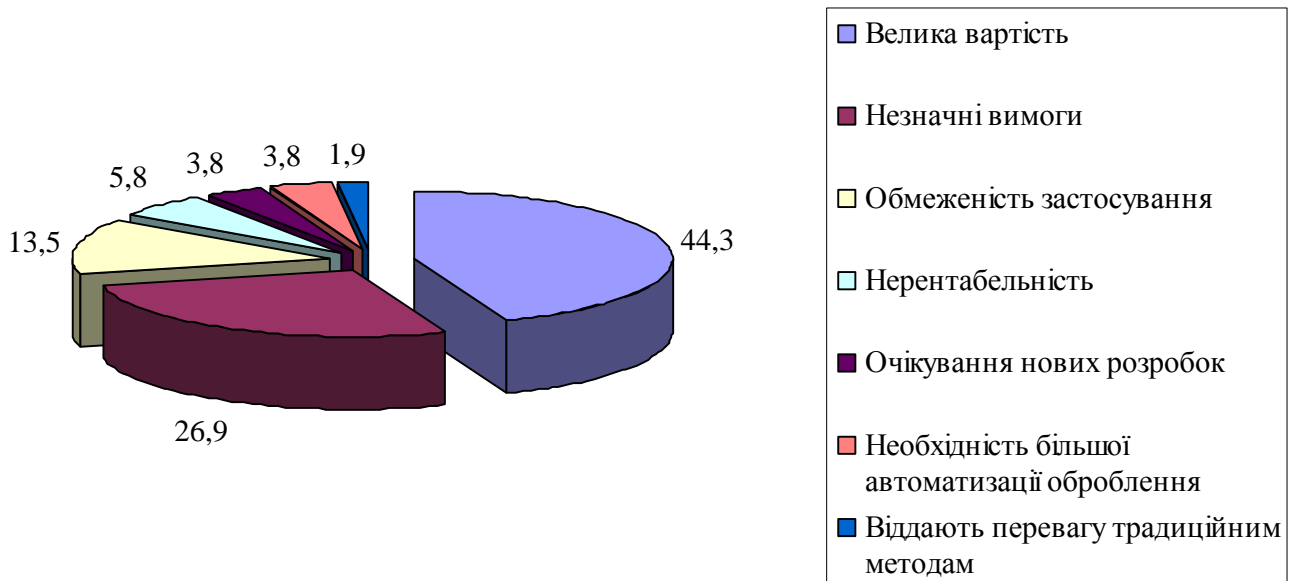


Рис. 1. Фактори ризику при використанні наземного лазерного сканування

Якщо поглянути на діаграму рис. 1 можна зробити наступні висновки:

- вартість наземних лазерних сканерів все ще залишається високою;
- сфера застосування значно розширилась і потребує подальшого дослідження, що вплинуло на вимоги користувачів;
- в зв'язку з розширенням сфери застосування підвищилась рентабельність наземного лазерного сканування;
- швидкість появи нових моделей сканерів зменшилась, отже найближчим часом не варто очікувати появи революційних розробок в галузі наземного лазерного сканування;
- автоматизації роботи з сканером і даними сканування підвищилась і вимагає подальшого дослідження;
- традиційні методи не витримують конкуренції з лазерним скануванням при правильному підході до виконання робіт і виборі технології оброблення даних.

Що стосується останнього зауваження то хоча на перший погляд воно здається надто оптимістичним, проте якщо проаналізувати діаграму на рис. 2, то одразу впадає в око, що окрім застосування наземного лазерного сканування

неможливе лише у реальному часі та при виконанні розмічувальних робіт. Останні виконуються тільки з використанням електронних тахеометрів і навряд чи найближчим часом їх зможуть замінити інші вимірювальні засоби. З іншого боку, що стосується інших характеристик, то лазерне сканування практично не поступається іншим методам, що при умові подальшої автоматизації робить наземне лазерне сканування незамінним при виконанні більшості геодезичних робіт.

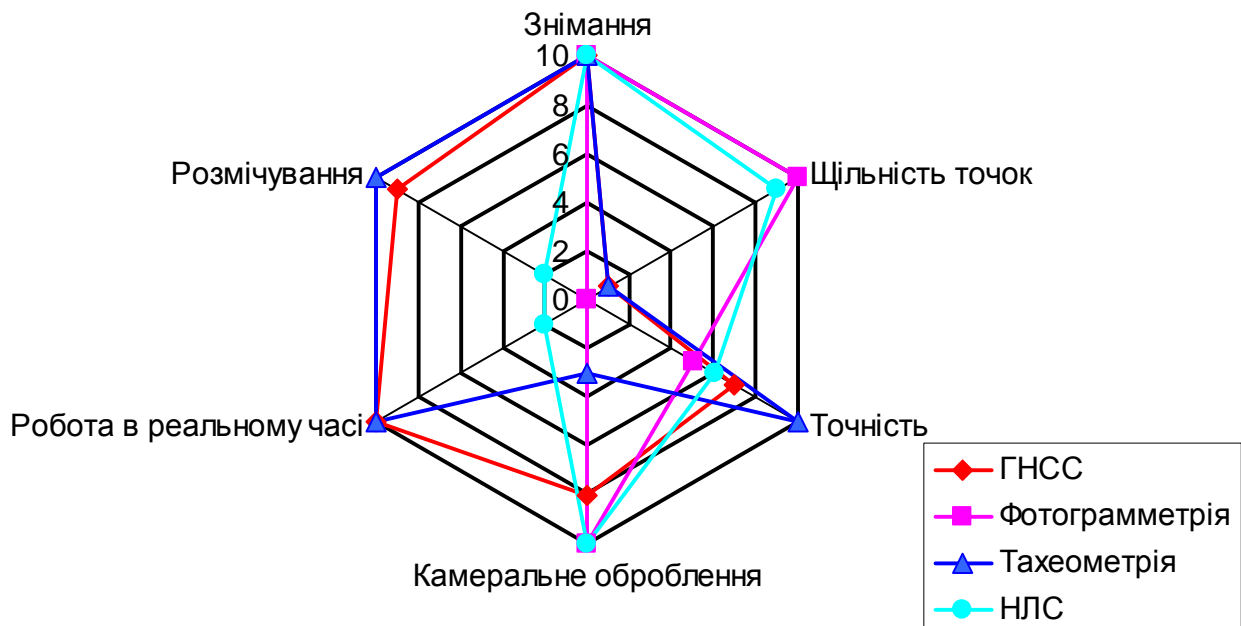


Рис. 2. Порівняльні характеристики найбільш розповсюджених методів виконання геодезичних робіт

Якщо продовжити порівняння існуючих методів, то необхідно відмітити той факт, що застосування того або іншого методу безпосередньо залежить від типу об'єкту і його форми. Якщо виконати порівняльну характеристику методів в залежності від типу об'єктів, то матимемо наступну картину (рис. 3).

Під RIM розуміється спеціальний метод вимірювання відстаней до об'єктів з використанням спеціалізованої цифрової камери.

З рис. 3 зрозуміло, що наземне лазерне сканування не поступається іншим методам знімання, а в деяких випадках є найбільш раціональним методом геодезичного знімання.

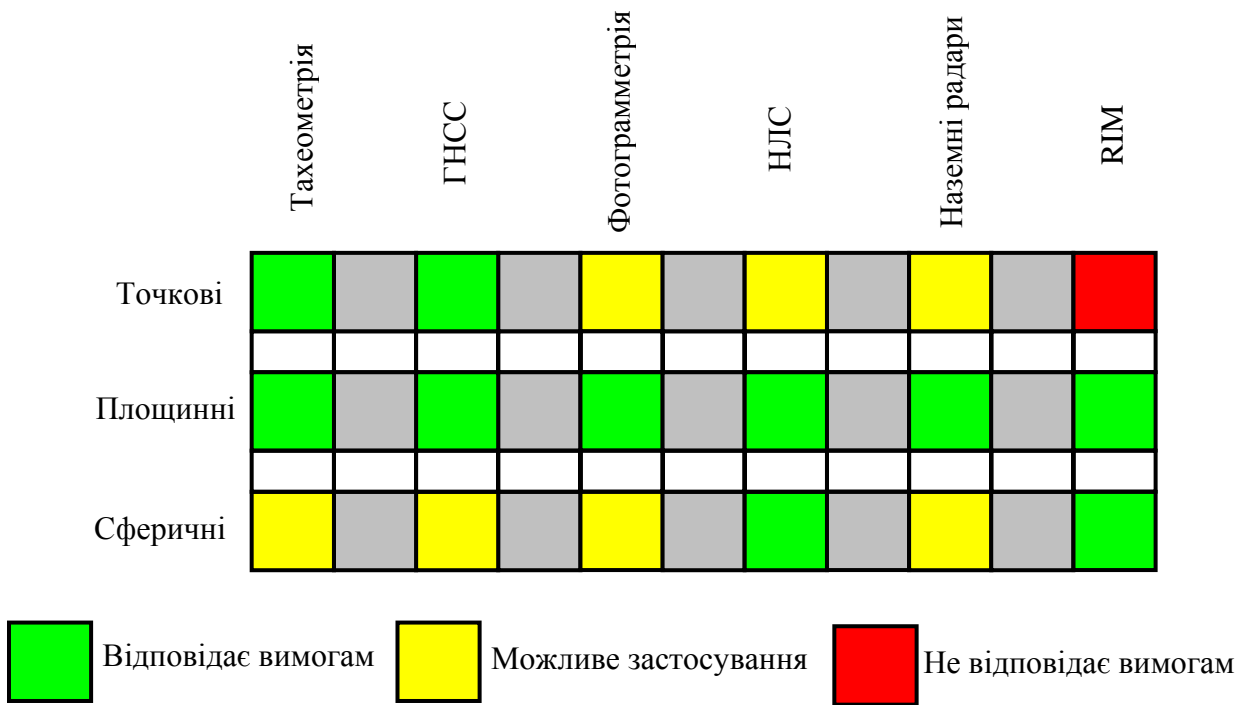


Рис. 3. Класифікація геодезичних методів знімання в залежності від типу поверхні знімання

Звернемо увагу на ще один важливий показник, це щільність точок рис. 4.



Рис. 4. Щільність точок при зніманні

Теоретично за допомогою фотограмметричного методу можна отримати найбільшу щільність точок. Однак при зніманні об'єктів які не мають чітко вираженої текстури застосування фотограмметричного методу можливе лише в стереоскопічному режимі, вимірювання в якому виконуються тільки в ручну.

Окремо необхідно сказати про вирішення задач моніторингу [5] методом наземного лазерного сканування.

Існує зворотна залежність між просторовою роздільною здатністю та часовою роздільною здатністю, яку ілюструє рис. 5. Слід пам'ятати, що при виконанні моніторингу з високою частотою збору даних найбільш доцільно використовувати роботизовані електронні тахеометри. Якщо ж умовами проекту передбачено при виконанні моніторингу виконати вимірювання якомога більшої кількості точок, то перевага наземного лазерного сканування перед іншими методами моніторингу стає незаперечною.

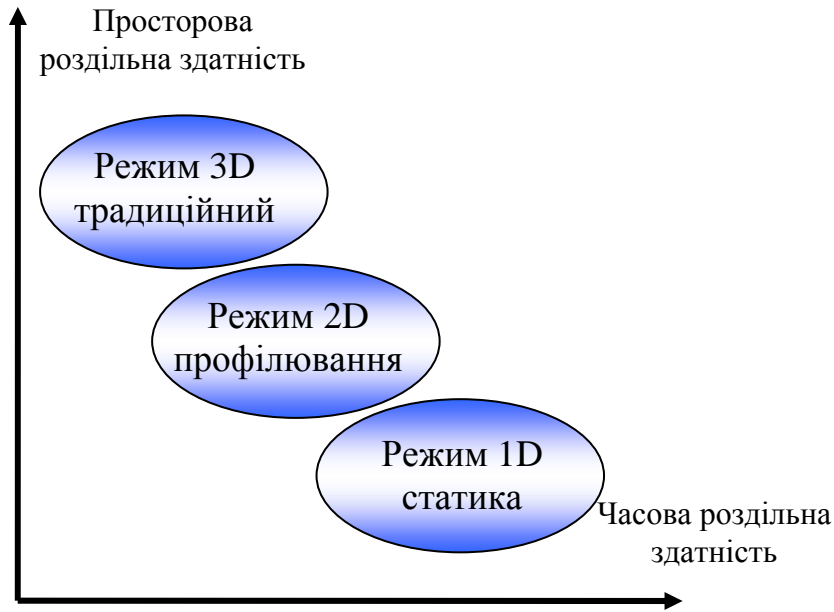


Рис. 5. Зв'язок між просторовою та часовою роздільною здатністю НЛС

Перейдемо до більш детального аналізу сучасних наземних лазерних сканерів, їх можливостей та сфер застосування (рис. 6).

Загалом системи наземного лазерного сканування можна розділити на мобільні і статичні [3]. Сферою застосування мобільних лазерних систем є знімання лінійних об'єктів (автомобільні дороги, залізниці та ін.). При цьому вимоги до точності мобільних сканерних систем можуть коливатись від метрів до десятків сантиметрів при створенні автомобільних ГС, і від декількох сантиметрів до міліметрів при визначенні параметрів залізничних колій. В залежності від робочих відстаней і необхідної точності при мобільному скануванні можуть застосовуватися лазерні сканери різної будови і різного принципу функціонування.

Сфери застосування статичного лазерного сканування цілком зрозумілі з рис. 6. Необхідність поділу статичного сканування на три категорії викликана вимірювальними особливостями різних моделей лазерних сканерів. Проаналізуємо кожну з наведених категорій. Виокремимо загальні особливості за якими відрізняються між собою лазерні сканери. До таких особливостей можна віднести:

- принцип вимірювання відстані;
- схема розгортки лазерного променя.

За принципом вимірювання відстані сканери можна розділити на три окремі групи:

- інтерферометричні;
- вимірювання часу;
- триангуляційні.



Рис. 6. Класифікація наземного лазерного сканування за функціональними можливостями

Слід одразу зауважити, що сканери які вимірюють відстані за інтерферометричним принципом використовуються тільки при створенні наземних радарних комплексів і в лазерних сканерах не використовуються. Більш детально методи вимірювання відстаней представлені на рис. 7.

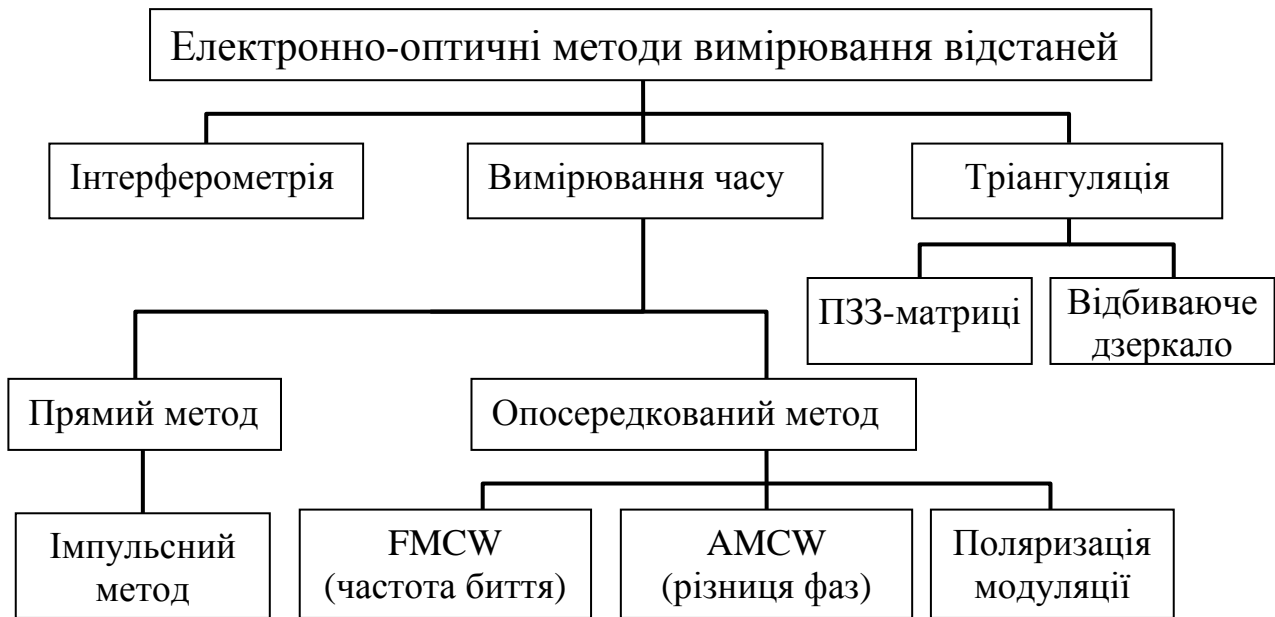


Рис. 7. Методи вимірювання відстаней

Проаналізуємо методи вимірювання відстаней в лазерних сканерах. Першим розглянемо прямий метод [6] вимірювання відстаней – імпульсний метод (рис. 8).

Імпульсний метод традиційно був першим, який було використано при створенні лазерних сканерів. Реалізація імпульсного методу є порівняно простою. Перевагою імпульсного методу є надійність вимірювання відстаней через те, що на виміряні цим методом відстані менше впливають зовнішні фактори і зокрема стан поверхні від якої відбивається промінь. Для імпульсного методу характерний великий діапазон вимірюваних відстаней. Проте точність імпульсного методу обмежена і для лазерних сканерів, що використовують цей метод вже досягнута максимальна точність вимірювання відстаней. В таблиці 1 наведено переваги та недоліки імпульсного методу.



Рис. 8. Імпульсний метод вимірювання відстаней (великі відстані)

Таблиця 1

Переваги та недоліки імпульсного методу

Переваги	Недоліки
<p>Висока стабільність. Порівняно проста схема вимірювання. Можливість реєстрації множинного відбиття від декількох об'єктів.</p>	<p>Обмеження в точності та роздільній здатності. Принципове обмеження при використанні одного приймача в схемі «відстань знімання – частота імпульсів».</p>

Іншим методом вимірювання відстаней є метод який базується на фазових вимірюваннях. На сьогоднішній день розроблено декілька варіантів вимірювання відстаней за допомогою фазових вимірювань. Принцип вимірювання заснований на вимірюванні відстані через різницю фаз зображено на рис. 9.

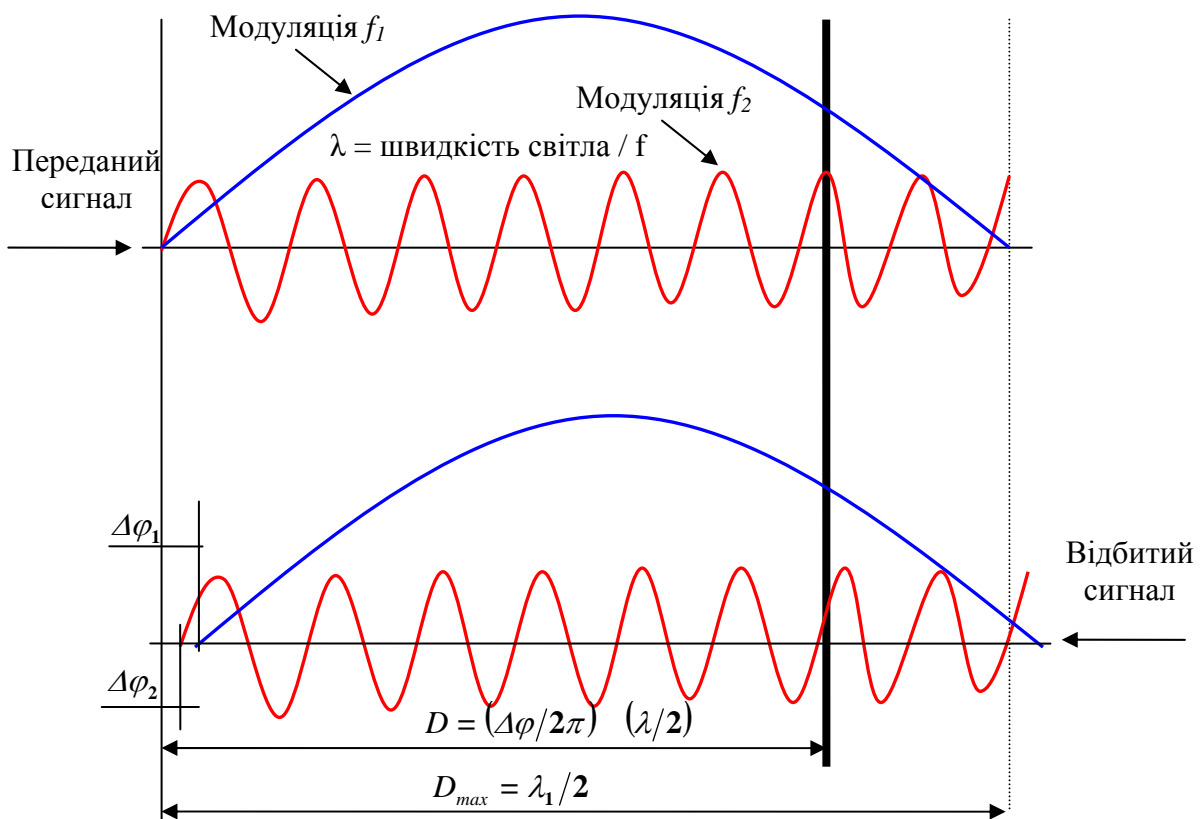


Рис. 9 Фазовий метод вимірювання відстаней (середні відстані)

За своїми властивостями фазовий метод дозволяє вимірювати відстані зі значно більшою точністю. Наведемо переваги та недоліки фазового методу (табл. 2). Одразу відмітимо, що за своїми властивостями фазовий метод не дозволяє вимірювати великі відстані. На сьогоднішній день найбільша відстань

доступна для наземних лазерних сканерів наближається до 150 м. Головною проблемою фазових методів, яких розроблено декілька, є необхідність обчислення цілої кількості циклів.

Таблиця 2

Переваги та недоліки фазового методу

Переваги	Недоліки
Висока точність. Висока продуктивність.	Обмеження на відстань. Необхідність вирішення цілочислової неоднозначності. Висока потужність випромінювача. Неможливість реєстрації множинного відбиття від декількох об'єктів.

Для вимірювання в машинобудуванні, де необхідні дуже високі точності було розроблено сканерні системи, які працюють за триангуляційним принципом (рис. 10).

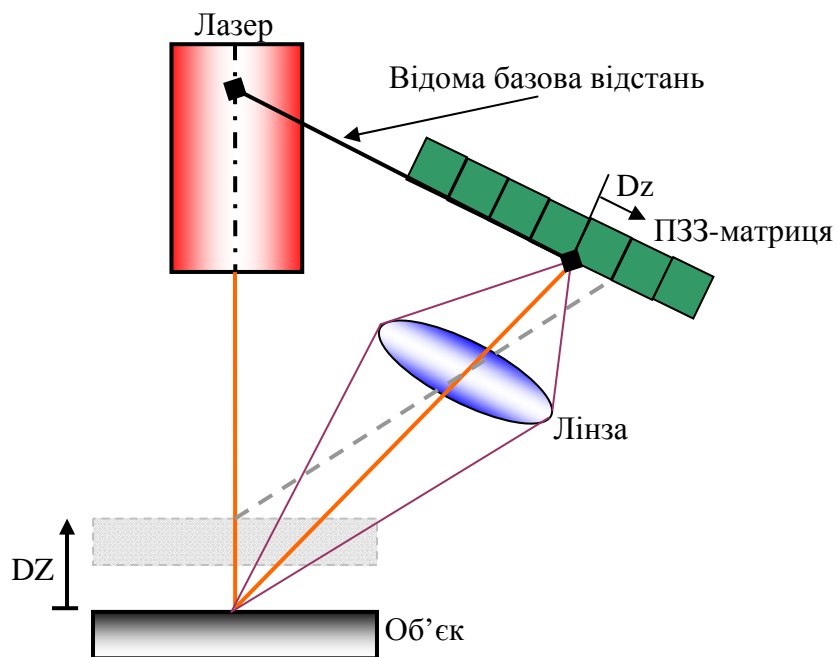


Рис. 10. Триангуляційний спосіб вимірювання відстаней (короткі відстані)

Наведена схема пояснює лише принципову схему вимірювання відстаней триангуляційним сканером. Особливістю триангуляційного методу є те, що сканування виконується не променем, а площиною. Окрім двох відомих способів триангуляційний метод може бути реалізований і за допомогою використання звичайного лазера і цифрової камери. Обов'язковою умовою в

такому способі є використання каліброваного станду на фоні якого виконується сканування. Точність такого методу багато в чому залежить від якості виготовлення каліброваного станду. Переваги та недоліки триангуляційного методу наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Переваги та недоліки триангуляційного методу

Переваги	Недоліки
Найвища можлива точність Компактність системи	Обмеження по відстані Сильна залежність від відбиваючих якостей поверхні Неможливість реєстрації множинного відбиття від декількох об'єктів

Аналізуючи всі вище наведені переваги та недоліки кожного з методів можна класифікувати ці методи за точністю та сферами можливого застосування [4]. Наведена на рис. 11 класифікація сучасних лазерних сканерів дозволяє в першому наближенні зробити висновок про можливість існуючого лазерного сканера.

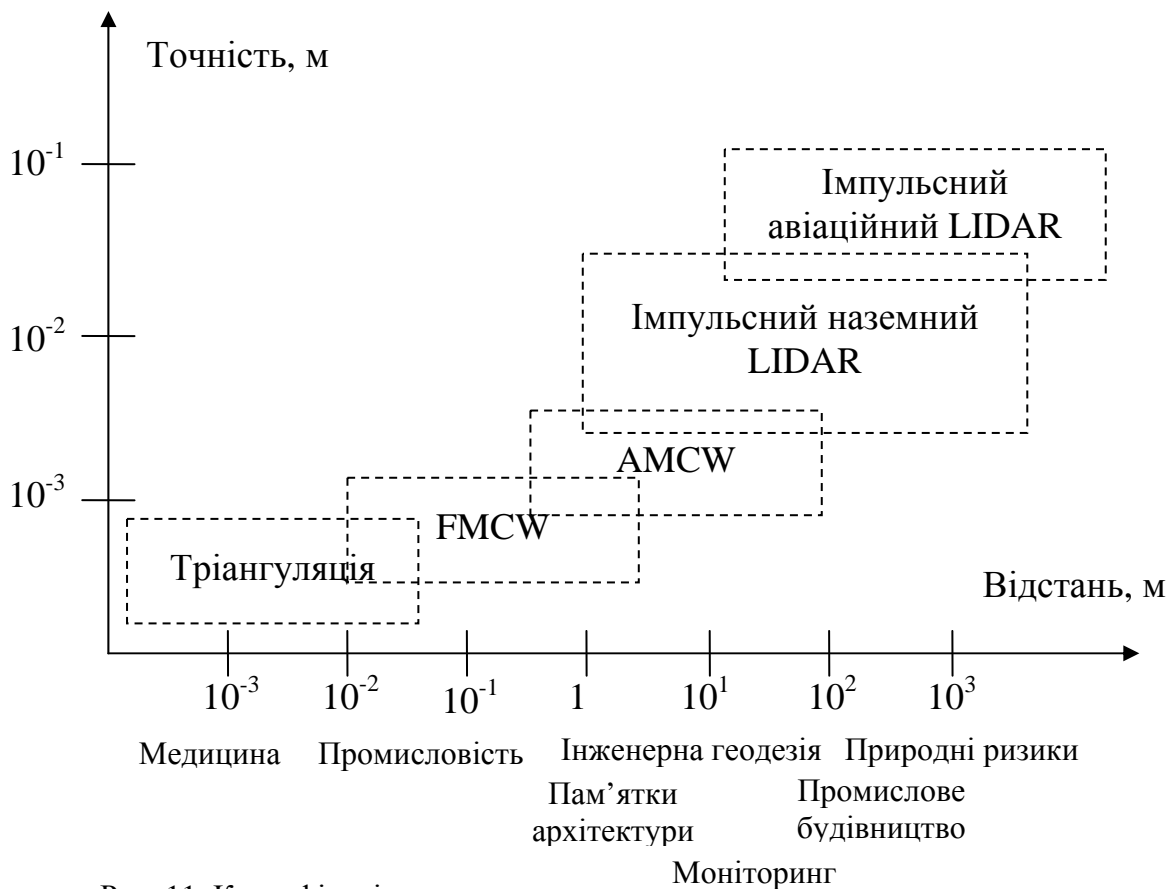


Рис. 11. Класифікація систем наземного лазерного сканування за методом вимірювання відстаней

Як було вказано раніше другою ключовою особливістю лазерних сканерів є схема розгортки лазерного променя. Від схеми розгортки сканера залежить величина поля зору лазерного сканера. Структурно можна виділити чотири типи поля зору лазерних сканерів (рис. 12).

З рисунку можна чітко уявити можливі сфери застосування різних типів лазерних сканерів. Панорамні сканери найкращим чином підходять для сканування інтер'єрів споруд, тунелів та інших замкнутих об'єктів. Сканер-камери застосовують при вирішенні задач архітектури, моніторингу та ін. Профільні сканери найчастіше використовуються в мобільних сканерних системах при скануванні лінійних об'єктів.

На останок наведемо перелік сучасних наземних лазерних сканерів в якому відобразимо основні характеристики, які на наш погляд слід обов'язково враховувати при аналізі технічних можливостей наземних лазерних сканерів.

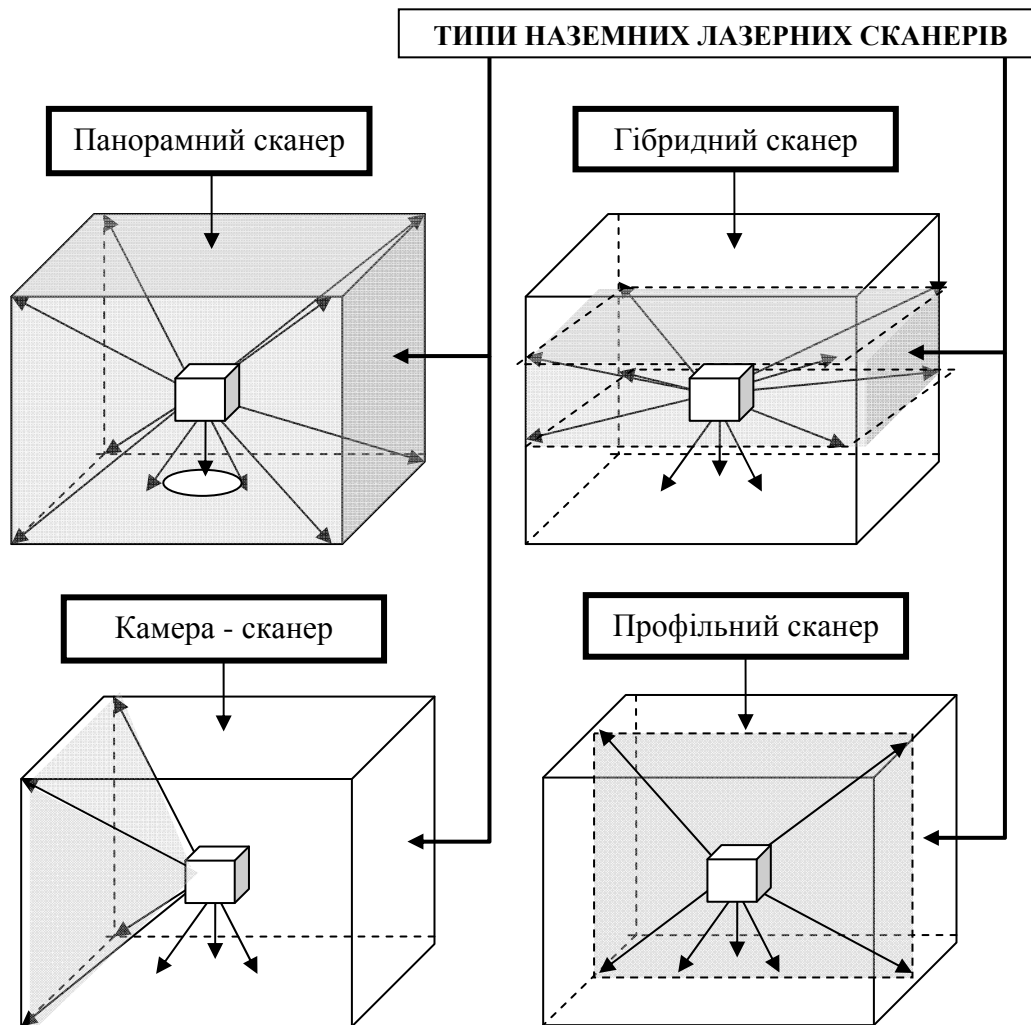


Рис. 12 Типи поля зору лазерних сканерів

Таблиця 4

Сучасні системи наземного лазерного сканування

№ п/п	Технічні характеристики сканерів	Модель сканера, фірма											
		Leica ScanStation C10	Leica ScanStation 2	Leica HDS6100	Leica HDS4400	Zoller+Fröhlich IMAGER 5006i	Zoller+Fröhlich IMAGER 5006 EX	Ortech ILRIS-3D	Ortech ILRIS-36D	iQvolution FARO LS880HE80	iQvolution Photon 120	iQvolution Photon 20	I-Site 4400
1	Фото												
2	Діапазон дії мінімальна дальність максимальна дальність	0,1 300	0,1 300	1 79	5 700	0,4 79	0,4 79	1500	1500	80	120	20	3 400
3	Швидкість сканування, точок/с	50000	50000	6000	4400	508000	508000	2500	2500	120000	976000	976000	4400
4	Довжина хвилі лазера, нм	532	532	780	905	780	780	1500	1500	785	785	785	670
5	Точність лінійних вимірювань на відстані 50м, мм	4	4	5	20	1	1	8 мм на 100м	8 мм на 100м	3 мм на 10 м	2 мм на 25м	2 мм на 25м	50
6	Розходження лазерного променя	0,12	0,12	0,22	0,22	0,22	0,22	0,29	0,29	0,22	0,2	0,2	2
7	Область сканування: по горизонталі по вертикалі	360° 270°	360° 270°	360° 310°	360° 80°	360° 310°	360° 310°	360° 110°	360° 110°	360° 320°	360° 320°	360° 320°	360° 80°
8	Роздільна здатність: по горизонталі по вертикалі	0,005° 0,005°	0,005° 0,005°	0,259° 0,259°	0,020° 0,020°	0,0018° 0,0018°	0,0018° 0,0018°	немає даних	0,001° 0,001°	0,007° 0,007°	немає даних	немає даних	0,028° 0,028°
9	Точність відліку кута: по горизонталі по вертикалі	± 0,001° ± 0,001°	± 0,0034° ± 0,0034°	± 0,007° ± 0,007°	± 0,010° ± 0,018°	± 0,007° ± 0,007°	± 0,007° ± 0,007°	немає даних	немає даних	± 0,00076° ± 0,0011°	немає даних	немає даних	± 0,0028° ± 0,0028°
10	Вбудована цифрова камера	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+
11	Тип вимірювання	Імпульсний	Імпульсний	фазовий	Імпульсний	фазовий	фазовий	Імпульсний	Імпульсний	фазовий	фазовий	фазовий	Імпульсний
12	Клас сканера	3R	3R	3R	3R	3R	3R	Class I	Class I	Class I	Class I	Class I	3R

№ п/п	Технічні характеристики сканерів	Модель сканера, фірма											
		Torcon GLS-1000 13	Trimble VX 14	Trimble GS 200 15	Trimble GS 1001 16	Trimble GX 17	Trimble FX 18	Riegl LMS-Z620 19	Riegl LMS-Z420i 20	Riegl LMS-Z390i 21	Riegl VZ400 22	Riegl LPM-321 23	Mensi SOISIC 24
13	Фото												
14	Діапазон дії мінімальна дальність максимальна дальність	330	0,1 5500	2 350	2 200	200	50	2 2000	2 1000	1 400	1,5 600	6000	2,5 25
15	Швидкість сканування, точок/с	30000	15	5000	5000	5000	190000	11000	11000	11000	122000	1000	100
16	Довжина хвилі лазера, нм	немає даних	870	немає даних	немає даних	немає даних	690	немає даних	немає даних	немає даних	немає даних	немає даних	640
17	Точність лінійних вимірювань на відстані 50м, мм	5 мм на 150 м	10 мм на 150 м	3мм на 100м	3мм на 100м	3	4	10	10	2	3	25	6
18	Розходження лазерного променя	немає даних	1	1,4	1,4	1,4	1	0,15	0,25	0,3	0,3	0,8	0,1
19	Область сканування: по горизонталі по вертикалі	360° 70°	немає даних	360° 60°	360° 60°	360° 60°	360° 270°	360° 80°	360° 80°	360° 80°	360° 100°	360° 150°	320° 46°
20	Роздільна здатність: по горизонталі по вертикалі	0,003° 0,003°	немає даних	0,030° 0,030°	0,030° 0,030°	0,070° 0,070°	0,002° 0,002°	0,004° 0,004°	0,004° 0,004°	0,002° 0,001°	0,0024° 0,0024°	немає даних	немає даних
21	Точність відліку кута: по горизонталі по вертикалі	± 0,0017° ± 0,0017°	± 0,0023° ± 0,0046°	немає даних	немає даних	± 0,0012° ± 0,0014°	± 0,0021° ± 0,0031°	± 0,0025° ± 0,002°	± 0,0025° ± 0,002°	± 0,001° ± 0,001°	± 0,0005° ± 0,0005°	немає даних	немає даних
22	Вбудована цифрова камера	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-
23	Тип вимірювання	Імпульсний	Імпульсний	Імпульсний	Імпульсний	Імпульсний	фазовий	Імпульсний	Імпульсний	Імпульсний	фазовий	Імпульсний	Триангуляційний
24	Клас сканера	Class 1	?	Class 2	3R	3R	3R	Class 1	Class 1	Class 1	Class 1	Class 1M	немає даних

Якщо проаналізувати моделі сканерів, які сьогодні представлені на ринку то фактично всі моделі можна розділити на декілька категорій, в залежності від сфери застосування:

- маркшейдерія (I-Site 4400, Leica HDS4400, Riegl LPM-321);
- архітектура (Leica ScanStation 2, Trimble GS 200, Topcon GLS-1000, Riegl LMS-Z420i);
- інженерна геодезія (Leica ScanStation C10, Zoller+Fröhlich IMAGER 5006i, Trimble FX, iQvolution Photon 120);
- моніторинг (Ortech ILRIS-3D, Riegl LMS-Z390i);
- машинобудування (Mensi SOISIC, Zoller+Fröhlich IMAGER 5006 EX).

Наведений огляд звичайно не претендує на повну об'єктивність, проте він відображає ситуацію, що на даний момент склалася на ринку виробництва наземних лазерних сканерів. Загалом можна сказати, що деякі виробники спеціалізуються на виробництві сканерів тільки для певних видів робіт. Отже при вирішенні конкретної задачі до вибору моделі лазерного сканера необхідно ставитися дуже відповідально.

Висновки. В роботі проведено детальний аналіз сучасних систем наземного лазерного сканування. Розглянуто основні характеристики наземних лазерних сканерів та особливості їх застосування. Розроблено класифікації застосування наземного лазерного сканування в залежності від методів вимірювання відстані, точності сканування та принципу розгортки лазерного променя.

Література

1. Zogg H.M. Investigations of High Precision Terrestrial Laser Scanning with Emphasis on the Development of a Robust Close-Range 3D-Laser Scanning System. Dissertation for the degree of Doctor of Sciences. ETH Zurich, 2008, 144 p.
2. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
3. Ingensand H. Metrological aspects in terrestrial laser-scanning technology. 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006, Germany
4. Schulz T. Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy. Dissertation for the degree of Doctor of Sciences. ETH Zurich, 2007, 141 p.
5. Paffenholz J.-A., Vennegeerts H., Kutterer H. High Frequency Terrestrial Laser Scans for Monitoring Kinematic Processes. INGEO 2008 – 4th International Conference on Engineering Surveying, Bratislava, Slovakia, October 23-24, 2008.
6. Ahmed Abdelhafiz Integrating Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning. Dissertation for the degree of Doctor of Sciences. Delft, 2005.

7. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса: Учебное пособие. – М.: Геолидар, Геоскосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.

АННОТАЦИЯ

Выполнен анализ современных систем наземного лазерного сканирования. Разработаны классификации применения наземного лазерного сканирования в зависимости от методов измерения расстояния, точности сканирования и принципа развертки лазерного луча

SUMMARY

The analysis of the modern of terrestrial laser scanners is executed. Classifications of terrestrial laser scanners application are developed depending on the methods of distance measuring, accuracy and principle of scan of laser ray