

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНОГО
ПЛАНУ МІСЦЕВОСТІ ЗА ДАНИМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ**

Шифр роботи: «Лідар»

2020 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	2
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	4
1.1. Історія виникнення лазерного сканування	4
1.2. Технологія лазерного сканування	5
1.3. Класифікація технічних засобів лазерного сканування	6
1.4. Обґрунтування вибору апаратної частини	9
1.5. Аналіз програмного забезпечення для отримання і обробки даних.....	11
РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНЕ ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	14
2.1. Розробка методики практичного виконання досліджень	14
2.1.1. Вихідні дані щодо досліджуваної земельної ділянки	14
2.1.2. Отримання та обробка хмар точок на досліджуваній ділянці в процесі польових робіт	16
2.1.3. «Зшивка» окремих хмар точок у єдину точкову модель	19
2.2. Обробка хмар точок	20
2.2.1. Зображення вихідної хмари точок та відтворення меж земельної ділянки.....	20
2.2.2. Очищення окремих хмар точок	22
2.2.3. Створення Mesh-моделі рельєфу земельної ділянки.....	23
2.2.4. Створення горизонталей і висот земельної ділянки	23
2.3. Створення топографічного плану місцевості земельної ділянки.....	25
2.4. Створення тривимірної моделі земельної ділянки	27
ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	31

ВСТУП

За час свого існування людство завжди намагалося створити технічні засоби, способи та технології побудови якомога точнішого зображення оточуючого середовища для його візуалізації та вирішення багатьох наукових та прикладних задач. Наявність зображень, схем, планів, карт та інших варіантів зображення місцевості допомагало людям у будівництві та мореплавстві, військовій та рятувальній справі, туризмі та мандрівках і в багатьох інших сферах їх життєдіяльності. Із зростанням рівня технічної та технологічної оснащеності підвищувалися вимоги до точності та достовірності цих зображень, а з початком космічної ери точність просторового позиціонування набула виняткового значення, оскільки іноді певні завдання необхідно було виконувати дистанційно, без безпосередньої присутності людини-оператора, хоча на сьогоднішній день у зв'язку зі швидким розвитком безпілотної техніки така точність потрібна не тільки в космосі. Для цього використовувалися та продовжують використовуватися різноманітні технології отримання даних, серед яких на сьогоднішній день існують наступні технічні засоби та методи: засоби нівелірування, тахеометричної зйомки та лінійних вимірів тощо. Однак ці засоби не в повній мірі відповідають сучасним вимогам та не завжди дозволяють створити тривимірні цифрові моделі з високою точністю. Одним із способів вирішення цього завдання є використання технічних засобів лазерного сканування (ЛС), які з одного боку вимагають значних матеріальних вкладень і людських ресурсів, але з іншого боку дають можливість більш швидко отримувати високоточні тривимірні зображення. Ці технології перетворюють плоскі цифрові зображення в тривимірні, що в свою чергу допомагає набагато легше і швидше вивчати потрібну територію або простір для вирішення різноманітних задач.

У зв'язку зі зростаючою потребою в отриманні подібних моделей, актуальною задачею є подальше вдосконалення технічних засобів, методів та технологій, а також програмного забезпечення обладнання для ЛС з

одночасним зниженням витрат на його експлуатацію.

З огляду на вищезазначене **метою дослідження** є удосконалення методики створення топографічного плану місцевості та тривимірної моделі заданої території з використанням новітніх технологій та апаратних засобів з використанням технології лазерного сканування.

Предметом дослідження є процеси створення топографічного плану і цифрового тривимірного зображення з використанням технічних засобів лазерного сканування і програмного забезпечення цих засобів, на прикладі даних, отриманих в процесі зйомки земельної ділянки, а також їх візуалізації.

Об'єктом дослідження є методика обробки даних для ландшафтного проектування за допомогою технології лазерного сканування місцевості.

На шляху до досягнення поставленої мети при проведенні дослідження необхідно було вирішити наступні **науково-практичні завдання**:

1. Провести аналіз апаратно-технічних засобів та обґрунтувати вибір технології, технічних і програмних засобів для вирішення поставлених задач.
2. Провести сканування земельної ділянки з використанням засобів лазерного сканування та виконати обробку отриманих хмар точок.
3. Виконати камеральну обробку даних та створити топогеодезичний план місцевості земельної ділянки.
4. Створити тривимірну модель заданої ділянки.

При проведенні досліджень використовувалися наступні **методи**:

1. Аналіз предметної області досліджень для обґрунтування визначення методу, переліку технічних засобів та програмного забезпечення до них для вирішення поставлених завдань.
2. Системний підхід при проведенні дослідження механізмів взаємозалежності технічних засобів лазерного сканування оточуючого простору, взаємодії окремих технічних компонентів системи між собою і з середовищем.
3. Експериментальні дослідження при проведенні натурних просторових вимірювань на заданій ділянці із використанням діючих апаратних засобів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Історія виникнення лазерного сканування

Розвиток цифрової геодезичної техніки, зокрема лазерних далекомірів, цілком передбачувано призвів до перших спроб збору лазерного сканера. Перші згадки про пристрої подібні до лазерних сканерів відносяться до середини 90-х років минулого століття (рис. 1). Так, наприклад, компанія Cyberware у 1991 році випустила пристрій, здатний сканувати невеликі об'єкти, використовувати ці сканери передбачалося тільки в медицині. Для геодезії ці пристрої не підходили, але принципи вже були визначені [1].

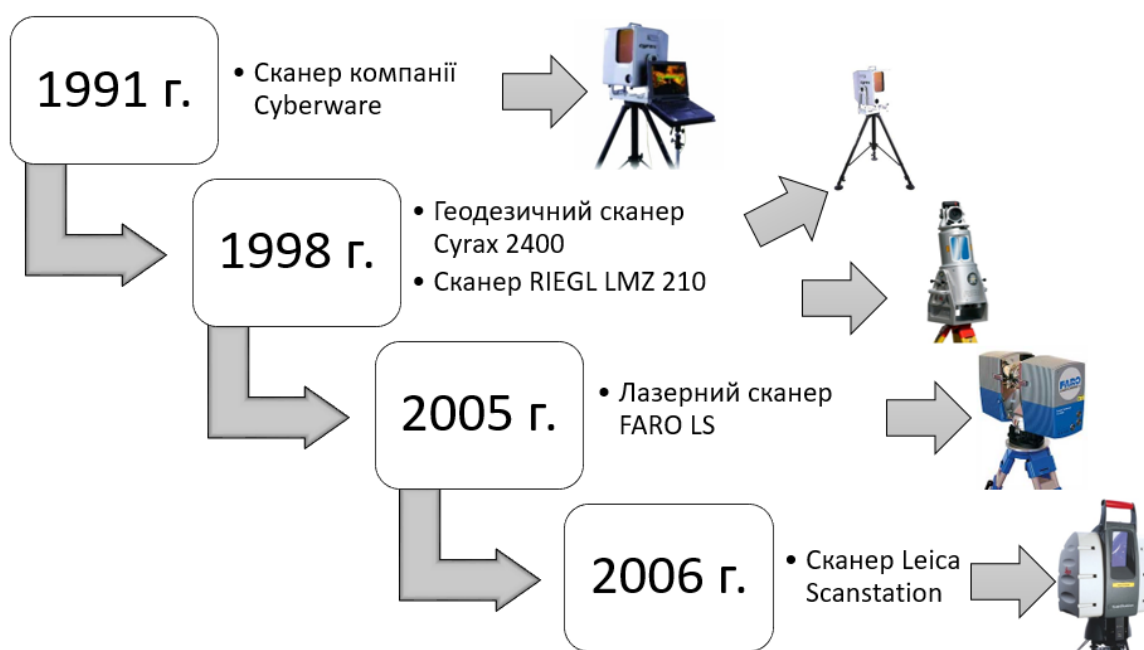


Рис. 1 – Розвиток геодезичної техніки, що реалізує принципи лазерного сканування

Перші геодезичні сканери з'явилися під брендом Сурах модель 2400 у 1998 році, приблизно в цей же час вийшов Riegl Scanner LMS Z 210. Сурах через три роки був куплений концерном Leica, Riegl ж існує на ринку до цього дня як самостійний виробник [2]. Першим лазерним сканером від компанії Leica був Scanstation випущений у 2006 році [3].

Ще однією компанією, яка претендувала на створення приладів в області

лазерних вимірювальних технологій, була компанія Res-Tech. Її 21 лютого 1981 року заснували Саймон Рааб і Грег Фрейзер, через два роки назва була змінена на FARO. Вони почали розробляти технології та програмне забезпечення для підтримки хірургічних і діагностичних методів, а в 1984 році представили свою першу технологію вимірювання шарнірного зчленування. У 2005 році був випущений перший лазерний сканер Faro LS [4].

1.2. Технологія лазерного сканування

Швидкість розвитку технології ЛС на теперішній час висока як ніколи. Комп'ютерні системи дозволили набагато спростити геодезичні роботи як польові, так і камеральні. Об'єднання можливостей геодезичних і фотограмметричних приладів дозволило створити абсолютно новий прилад – систему тривимірного ЛС (наземного лазерного сканера). Головним принципом цього методу є вимірювання з високою швидкістю відстаней від сканера до точок об'єкта та фіксування горизонтальних і вертикальних кутів. Продуктом такої зйомки є безліч точок, який включає в собі мільйони вимірювань [5].

На виході маємо «скан» – хмару точок, яка характеризується низькою дискретністю, а при певних умовах може сприйматися як континуальна. Такий підхід має величезну перевагу в порівнянні з іншими методами просторових вимірів. Якщо є об'єкт складних обрисів (наприклад, промислова установка, або фасад історичної будівлі і т.п.), то відтворити його математично точний образ традиційними геодезичними засобами дуже складно. Лазерним сканером це можливо значно швидше і простіше (але не завжди) [6].

Таким чином, ЛС вже пережило етап перших експериментів і оформилося в окремий напрямок геодезичних досліджень. Розробки ведуться як і раніше, але якщо наземний сегмент вже сформувався, то мобільне ЛС ще на стадії становлення. Моделювати стає зручніше і швидше, це говорить про те, що технологія сканування поступово буде дешевшати за рахунок людино-годин, що в сучасних умовах вкрай важливо [7,8].

Аналіз методів із використанням лазерних сканерів дозволив сформулювати основні переваги лазерного сканування, що наведені на рис. 2.



Рис. 2 – Основні переваги лазерного сканування.

1.3. Класифікація технічних засобів лазерного сканування

За принципом розташування обладнання для ЛС, сканери поділяються на три види (рис. 3):

- наземні системи лазерного сканування;
- повітряні системи лазерного сканування;
- мобільні системи лазерного сканування.

Наземне лазерне сканування (НЛС):

Зйомка виконується з наземних об'єктів або з ґрунту в дискретному режимі (з перестановкою приладу). Метод можна застосовувати в закритих приміщеннях і середовищах (тунелі, печери). Наземне лазерне сканування ідеально підходить для складних споруд і внутрішніх зйомок.



а)



б)



в)

Рис. 3 – Види лазерного сканування за принципом розташування обладнання:

а) – наземне ЛС; *б)* – повітряне ЛС; *в)* – мобільне ЛС.

Технологія наземного ЛС використовується для отримання детальних 3D-моделей об'єктів, фасадних планів, топографічних планів місцевості масштабу 1:500. Наземний лазерний сканер дозволяє відзняти об'єкти розміром до 0,5-2 см з точністю до 0,1-1 мм. Наземне ЛС може вестися в будь-який час доби. Продуктивність – від 1000-4000 м² при зйомці фасадів в масштабі 1:50 до 4-20 гектарів при зйомці топографічних планів масштабу 1:500.

Недоліком методу можна вважати низьку продуктивність.

Завдання, які вирішуються:

створення високоточних тривимірних моделей промислових об'єктів для включення їх в корпоративні системи управління;

ведення будівництва і контроль;

оперативний моніторинг особливо важливих об'єктів і небезпечних ділянок;

розрахунок об'ємів переміщеного ґрунту, зрушень схилів та інше.

Повітряне лазерне сканування (ПЛС):

Зйомка ведеться в безперервному режимі, особливо ефективна для малообжитих територій.

Повітряне ЛС застосовується для високоточного картографування лінійних і площадних об'єктів в масштабах 1:500 – 1:5000 з повітряних носіїв (літак, вертоліт або безпілотний літальний апарат). Точність – 5-8 см, детальність відтворення – 20-50 см, продуктивність – до 800 погонних км зйомок в день (ширина смуги зйомки до 1000-1500 м). Для виконання зйомок цим методом потрібно вкрай мала кількість наземних робіт, що робить його незамінним в незаселеній місцевості або на небезпечних об'єктах.

Недоліком можна вважати низьку деталізацію при зйомці вертикальних площин (наприклад, стін).

Завдання, які вирішуються:

створення і оновлення топографічних планів 1:500 - 1:5000;

дешифрування зон розвитку небезпечних геологічних процесів;

моніторинг об'єктів.

Мобільне лазерне сканування (МЛС):

Зйомка виконується з наземного або водного носія в безперервному режимі. Метод допускає обмежене короткочасне перебування в закритих середовищах (проїзд під мостами, короткі тунелі). Мобільне ЛС ідеально підходить для міських територій.

Технологія застосовується для масованого картографування і 3D-моделювання лінійних інфраструктурних об'єктів (автомобільні дороги і залізниці, лінії електропередачі, вулиці міст), площадних об'єктів складної структури і високої детальності (населені пункти, розв'язки та естакади в кілька рівнів, скелясті береги, нижні б'єфи гребель (з плавзасобів) тощо. Точність – 5-8 см, детальність відтворення – 1-5 см, продуктивність – до 500 погонних км зйомок в день (ширина смуги зйомки – 50-250 м).

Недоліки: недоступність для зйомки даху об'єктів, об'єкти поруч з носієм (паркани, кущі) можуть бути перешкодою.

Завдання, які вирішуються:

створення тривимірних моделей великих промислово-територіальних комплексів;

створення профілів і планів доріг [10].

Рішення про те, який саме вид сканування застосовувати, залежить від поставленого завдання. Для досягнення поставленої мети та задач дослідження було обрано систему наземного лазерного сканування.

1.4. Обґрунтування вибору апаратної частини

На сьогоднішній день ринок лазерних сканерів представлений різноманітним модельним рядом, це сканери фірм Leica, Faro, Trimble, Optech, Riegl VisImage, IQsun і багатьох інших. Найбільш досконалим в цьому ряду є лазерні сканери фірми Leica.

На рис. 4 наведено зображення лазерного сканера Leica RTC 360, він здійснює 3D сканування зі швидкістю до 2 мільйонів точок за секунду і має вдосконалену систему отримання HDR зображень, створення кольорових тривимірних хмар точок займає менше 2 хвилин. Крім того, є автоматизоване зшивання «сканів» (завдяки технології Visual Inertial System (VIS)) і автоматизація процесу передачі даних з поля в офіс, що скорочує час роботи над проектом і забезпечує максимальну продуктивність. В прилад вбудована інерціальна система VIS, GNSS-датчики, компас і висотомір, що дозволяє фіксувати переміщення станції сканування і виконувати автоматичну прив'язку до опорних точок, тим самим, істотно спрощуючи обробку польових результатів в камеральних умовах [13].

Головними перевагами даного сканера є висока швидкість отримання даних сканування об'єкта, висока мобільність і чутливість до об'єктів, на яких отримати точні вимірювання іншими існуючими методами досить складно.



Рис. 4 – Зовнішній вигляд лазерного сканера Leica RTC 360

Лазерний сканер Leica RTC 360 має широку сферу практичного застосування [13]:

1) **Архітектура і будівництво** – сканер Leica RTC 360 дозволяє отримати максимальну кількість даних за одиницю часу без втрати якості, що в свою чергу дає можливість оперативно відслідковувати ситуацію на будівельному майданчику і вчасно вносити необхідні корективи, зберігаючи час і кошти.

2) **Маркшейдерія і калібрування резервуарів** – визначення об'ємів насипів і заглиблень, побудова горизонталей і фігур резервуарів, розрахунок об'єму з кроком в 1 мм за лічені хвилини.

3) **Промисловість і цивільна інфраструктура** – зйомка 3D-геометрії автодоріг або рейкових шляхів, тунелів, мостів й інших об'єктів забудованої території.

4) **Криміналістика** – оперативний і точний збір даних дозволяє поліції прискорити збір доказів для аналізу місця злочину або дорожньо-транспортної пригоди ДТП.

5) **Цифрова 3D-реальність** – сканер Leica RTC 360 може застосовуватися для створення віртуальної і доповненої реальності, наприклад, для віддаленої демонстрації виконання проекту інвесторам, контроль ходу будівництва,

контроль стану потенційно-небезпечних об'єктів, перегляд квартир і будинків в агентствах нерухомості, перегляд готелів та благоустрою прилеглої території в тур-агентствах, тест-драйв нових автомобілів, магазинів і багато іншого.

1.5. Аналіз програмного забезпечення для отримання і обробки даних

Великі виробники лазерних сканерів (Leica, Faro, Riegl, Trimble), як правило, випускають не тільки обладнання, а й програмне забезпечення для передачі, перегляду і обробки даних, отриманих зі сканерів. Здебільшого таке програмне забезпечення вирішує стандартні завдання управління даними ЛС (імпорт, експорт), дозволяє переглядати отримані дані, а також виконувати їх первинну обробку: реєстрацію, вирівнювання, фільтрацію і побудову поверхонь. Отримані хмари і поверхні потім можуть бути експортовані в загальноприйняті формати обміну даними (LAS, XYZ та ін.) і передані для подальшої обробки в інші програми [15].

На різних етапах обробки даних ЛС необхідне певне програмне забезпечення.

1. Сканування в польових умовах – мобільний додаток Cyclone Field 360.

На першому етапі в польових умовах використовувався додаток Cyclone Field 360 для управління сканером, процесом сканування і установки налаштувань для виконання сканування з мобільного пристрою.

Алгоритм взаємозв'язків при використанні програмного забезпечення в польових і камеральних (офісних) умовах показаний на рис. 5.

Для Leica RTC 360 використовується програмне забезпечення, яке встановлюється на Apple iPad, називається Cyclone Field 360. Воно призначене для автоматичної реєстрації даних в польових умовах, при цьому лазерний сканер Leica RTC 360 працює з досить високою точністю, яка може бути перевірена відразу на об'єкті [16].

На рис. 6 показаний приклад відображення даних в програмному забезпеченні Cyclone Field 360.

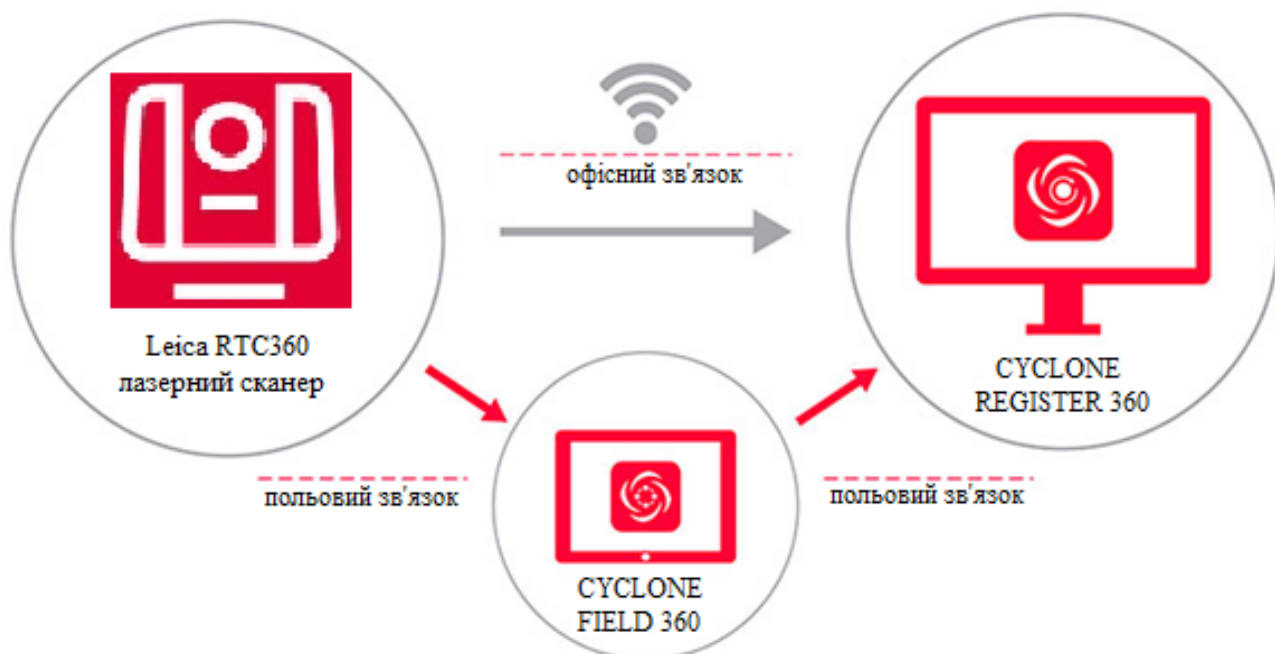


Рис. 5 – Алгоритм взаємозв'язків при використанні програмного забезпечення в польових і камеральних (офісних) умовах



Рис. 6 – Приклад відображення даних в програмному забезпеченні Cyclone Field 360

2. «Зшивання» окремих хмар точок в єдину точкову модель – Cyclone Register 360.

Програмне забезпечення Cyclone Register і оновлення Register 360, що вийшло у 2017 році – це модулі, призначені для реєстрації, тобто «зшивання» хмар точок, знятих з декількох станцій сканування, в єдину хмару точок в заданій системі координат.

3. Обробка хмари точок – Cyclone Model.

Leica Cyclone Model має найбільший, повний і автоматизований набір інструментів для точного моделювання 3D хмари точок для машинобудування, геодезії, будівництва, архітектури та інші.

4. Створення топографічного плану – AutoCAD.

AutoCAD – це програмний пакет, розроблений компанією Autodesk. Функції програмного пакета орієнтовані на проектну частину в ракурсі внутрішньої комунікації: опалення, електромережі, вентиляція приміщень тощо. Спочатку програмне забезпечення розробляє креслення у 2D-форматі (наприклад, план, фрагмент, проект), а потім, на основі двомірного зображення, програма створює 3D-модель [22].

5. Створення 3D моделі – Revit.

Autodesk Revit, або просто Revit – програмний комплекс для автоматизованого проектування, який реалізує принцип інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM). Призначений для архітекторів, проектувальників несучих конструкцій та інженерних систем. Надає можливості тривимірного моделювання елементів будівлі і плоского креслення елементів оформлення, створення призначених для користувача об'єктів, організації спільної роботи над проектом, починаючи від концепції і закінчуючи випуском робочих креслень і специфікацій [26].

РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНЕ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1. Розробка методики практичного виконання досліджень

В роботі запропонована удосконалена методика створення топографічного плану і цифрового тривимірного зображення з використанням технічних засобів ЛС і програмного забезпечення цих засобів, на прикладі експериментальних даних, отриманих в процесі зйомки земельної ділянки, а також їх візуалізації.

На рис. 7 зображена методика польових експериментальних досліджень та камеральної обробки даних лазерного сканування.

Для початку були визначені вихідні (попередні) дані про досліджувану земельну ділянку та задачі, які необхідно було виконати по технічному завданню.

На наступному етапі виконувалися польові роботи безпосередньо на земельній ділянці щодо збору даних за допомогою технології ЛС, а саме проводилася рекогносцировка на місцевості для визначення точок (станцій) стояння сканера та отримані дані за результатами проведення зйомки.

Завершальним етапом являлося проведення камеральних робіт в офісних умовах. На цьому етапі виконувалася «зшивка» хмар точок, їх обробка та створення Mesh-моделі. Далі за результатами обробки були створені топографічний план місцевості та тривимірна модель земельної ділянки.

2.1.1. Вихідні дані щодо досліджуваної земельної ділянки

Досліджувана зсувонебезпечна земельна ділянка знаходиться у селі Великі Проходи Дергачівського району Харківської області, де за результатами багаторічних натурних спостережень відбувалися локальні зсуви ґрунту та руйнування будівель і споруд, які на ній розташовані. На рис. 8 зображена земельна ділянка, яка отримана за допомогою супутникового знімку, завантаженого з інтернет-ресурсу [31].

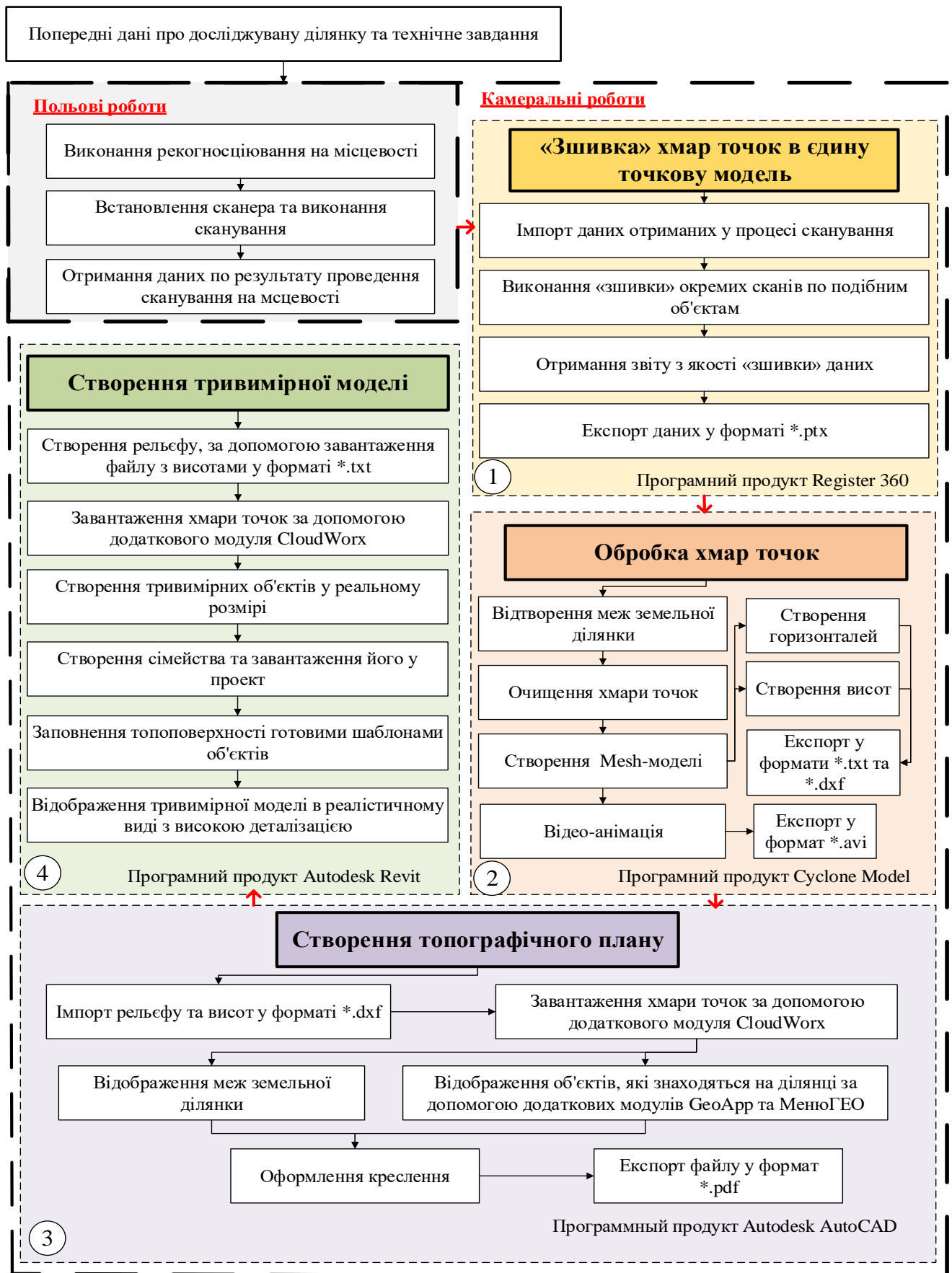


Рис. 7 – Методика польових експериментальних досліджень та камеральної обробки даних лазерного сканування



Рис. 8 – Зображення земельної ділянки, отримане зі супутника

Земельна ділянка за площею становить 40 соток та має виражені перепади висот рельєфу приблизно у 14 метрів.

Основним завданням технічного проекту було отримання наступних даних за допомогою технології наземного лазерного сканування:

1. Топографічного плану місцевості в межах земельної ділянки у масштабі 1:500, побудованого у програмному продукті Autodesk AutoCAD з нанесенням усіх об'єктів і споруд, що знаходяться в межах ділянки сканування. Горизонталі проведені через кожні 0,5 метра. Формат кінцевого файлу – *.pdf.

2. Тривимірної моделі земельної ділянки побудованої у програмному продукті Autodesk Revit. Формат кінцевого файлу – *.rvt.

Ці дані необхідні для створення бази даних щодо стану потенційно-небезпечної зсувонебезпечної території.

2.1.2. Отримання та обробка хмар точок на досліджуваній ділянці в процесі польових робіт

Перший і найбільш важливий етап процесу створення топографічного плану і тривимірної моделі – це виконання польових робіт на самому об'єкті. Метод отримання даних, застосовуваний на цьому етапі – технологія наземного ЛС – дозволяє в короткі терміни отримати тривимірне зображення об'єкта у

вигляді дискретних точок як з просторовими координатами (x, y, z), так і з якісними характеристиками поверхні (інтенсивність поглинання світла, колір). ЛС виконувалося з кроком, величина якого залежить від необхідного ступеня опрацювання рельєфу поверхні. Сканована поверхня відображається спочатку у вигляді так званої «хмари точок», яка, потім накривається апроксимуючої поверхнею, що відтворює скановану поверхню з певною точністю.

Проведення польових робіт мало на меті безпосередній виїзд на об'єкт зйомки. Для початку проводився огляд і обстеження місцевості, тобто рекогносцировка, з метою вибору станцій розташування сканера на ділянці. Обрані станції розташування сканера зображені на рис. 9.

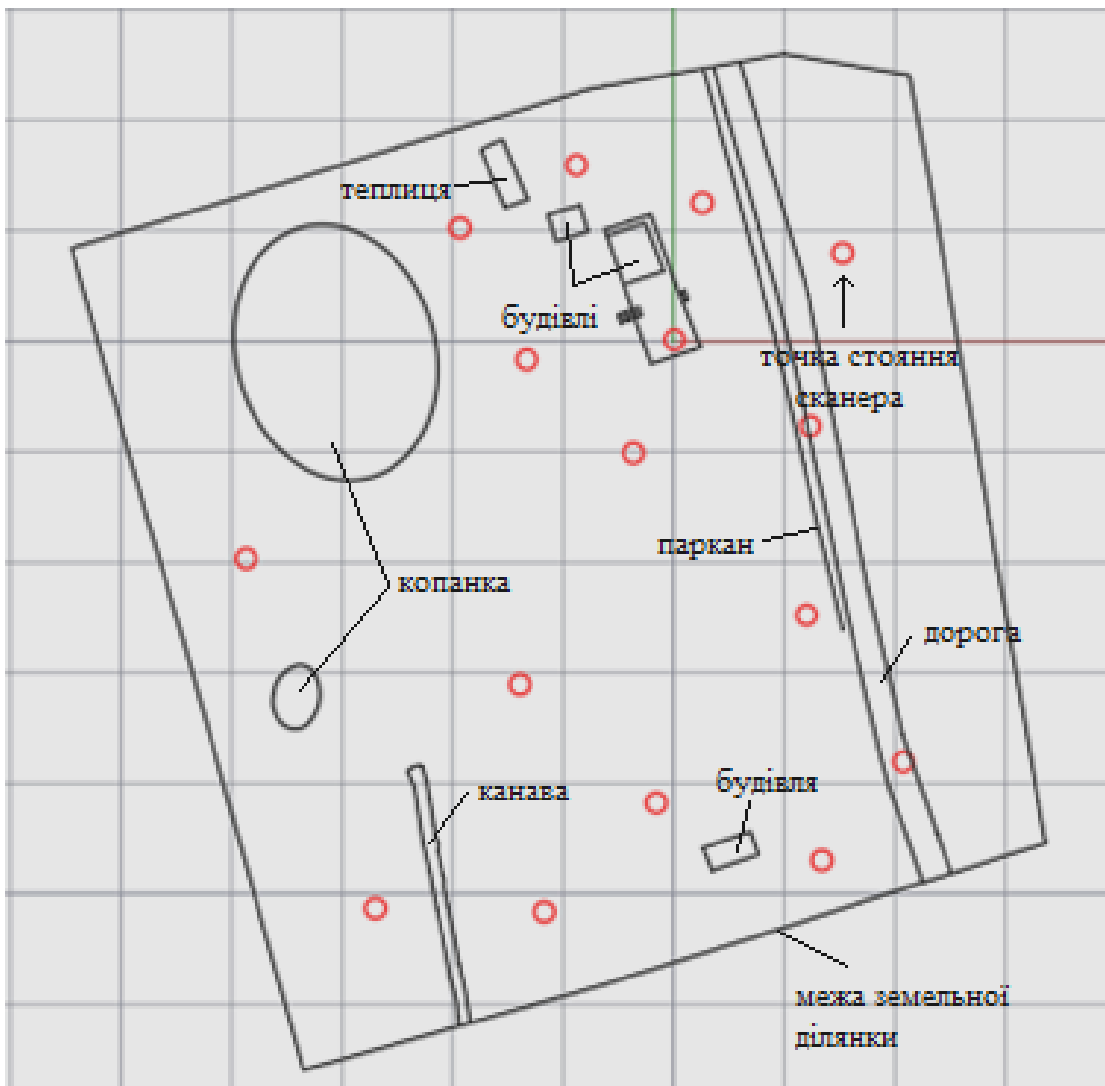


Рис. 9 – Схематичне зображення станцій розташування лазерного сканера Leica RTC 360, прийняте у процесі рекогносцировки

Сканування було виконано за допомогою лазерного сканера Leica RTC 360. Управління налаштуваннями сканера виконувалося за допомогою програмного забезпечення Cyclone Field 360 на портативному пристрої Apple iPad Pro. Для підключення до мережі Leica RTC 360 в налаштуваннях Wi-Fi виконувалося підключення до пристрою.

Після встановлення необхідних параметрів та налаштувань був запуснений процес сканування і протягом 48 сек. був отриманий перший «скан», який представлений на рис. 10.

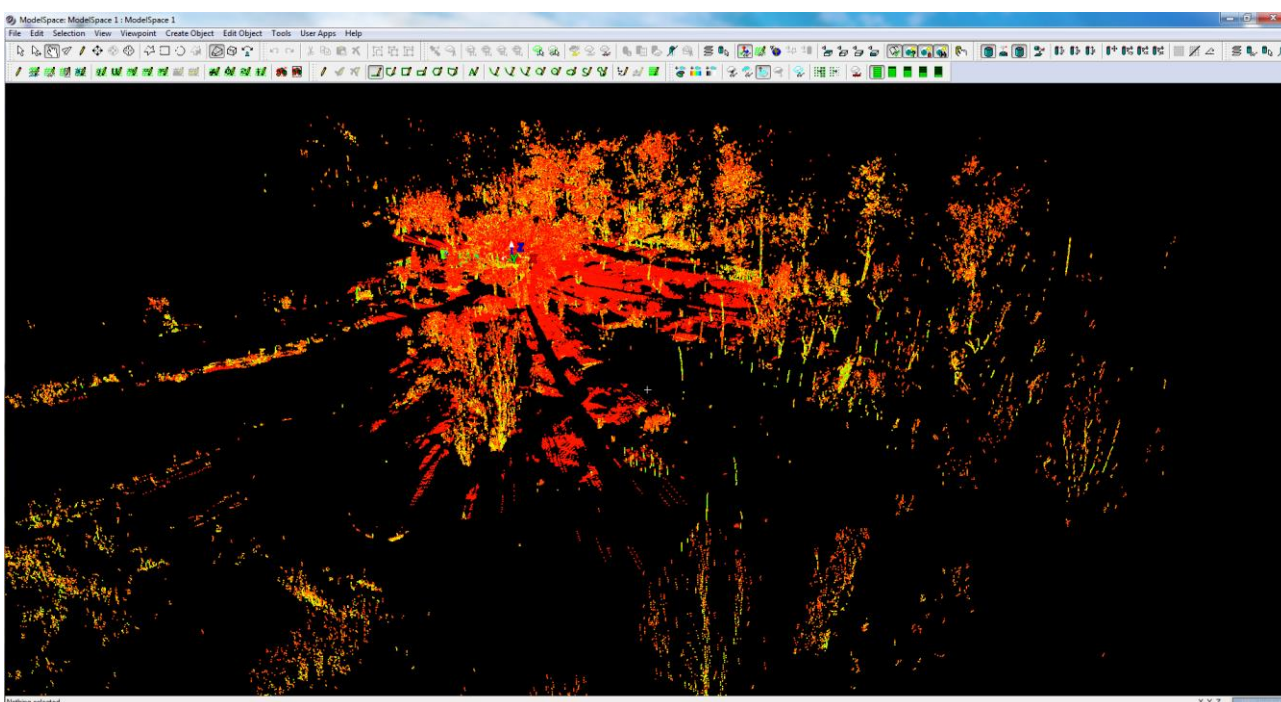


Рис. 10 – Зображення рельєфу місцевості, отримане при першому циклі сканування

В результаті проведення зйомки на 16 станціях було отримано близько 39 мільйонів координатних точок та 16 окремих «сканів», які пов'язані між собою за допомогою інерційної системи VIS, в програмному забезпеченні Cyclone Field 360 безпосередньо в процесі проведення зйомки. Зв'язування окремих «сканів» між собою в польових умовах дає можливість оперативного контролю якості проведеної зйомки і, при необхідності, повторного сканування неякісних або відсутніх фрагментів в хмарі точок.

Однак, отримана в польових умовах узагальнена хмара точок вимагає

більш якісного та ретельного контролю та доопрацювання в камеральних умовах, що і було зроблено на наступному етапі.

2.1.3. «Зшивка» окремих хмар точок у єдину точкову модель

На першому етапі камеральної обробки був проведений контроль якості і «зшивання» окремих хмар точок в єдину точкову модель в програмному продукті Register 360. Це програмне забезпечення призначене для роботи з окремими хмарами точок, воно дозволяє користувачам автоматично обробляти, перевіряти і доставляти хмари точок відповідно до заданих вимог точності.

Для об'єднання станцій було здійснено підключення до мережі RTC 360 через Wi-Fi на персональній електронно-обчислювальній машині.

Був запущений програмний продукт Register 360 і створений новий проект. Далі виконаний імпорт даних зі сканера Leica RTC 360, в процесі чого обиралися необхідні станції, які були імпортовані в проект. В результаті імпорту даних на екрані з'явилося 16 «сканів», при подальшій роботі з якими необхідно було перевірити кожний «скан» на якість зшивання один з одним. Далі по ходу переміщення по станціям попарно вибиралися «скани» і проводилися операції з хмарами точок, а саме: рух по орбіті, перенесення і поворот, також вид збоку і вид зверху. При коректному поєднанні пари обраних хмар точок програма видавала повідомлення про проведення аналізу якісного і кількісного поєднання точок обраних хмар, що свідчило про їх коректне поєднання. Такі ж маніпуляції проводилися з рештою хмар точок.

Після перевірки всіх «сканів» на якість зшивання, станції були з'єднані зв'язками, це означало що «зшивання» виконано якісно. Якщо з'являлася помилка при виконанні зшивання, то зв'язок відображався пунктирною лінією, що вимагало повторної перевірки.

На рис. 11 зображена зшита хмара точок у тривимірному вигляді, на якій відображені станції (точки стояння сканера) та зв'язки між ними.

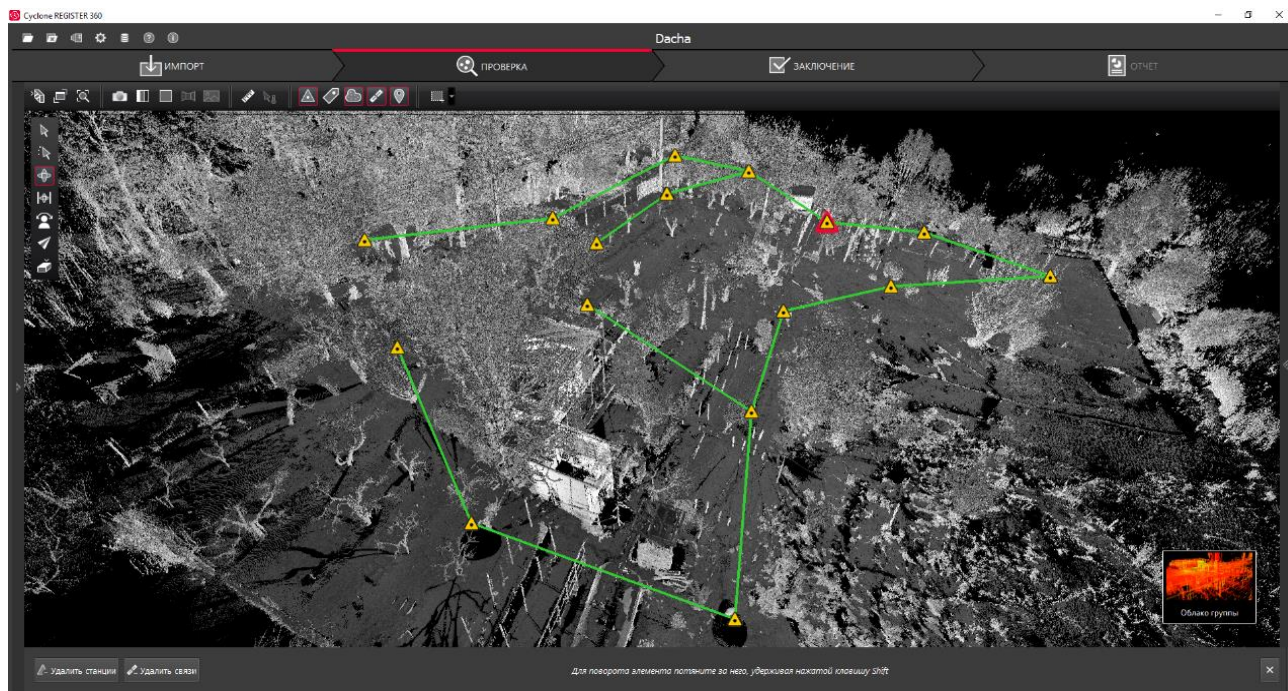


Рис. 11 – Відображення «зшиті» хмари точок у тривимірному вигляді

Для подальшої роботи з точковою моделлю її необхідно було експортувати в один із форматів, сумісних з Cyclone Model і створити базу даних цієї моделі. В нашому випадку експорт виконувався в форматі *.ptx.

2.2. Обробка хмар точок

В даному підрозділі розглядається обробка хмар точок, отриманих за допомогою технології лазерного сканування. Обробка виконувалася в програмному продукті Cyclone Model.

2.2.1. Зображення вихідної хмари точок та відтворення меж земельної ділянки

При виконанні цього етапу в програмний продукт Cyclone Model завантажувалася база даних, збережена за результатами «зшивання». Далі була відкрита «зшита» хмара точок у вікні «Model Space» (модельний простір), у якому відображалися вихідні дані (рис. 12).

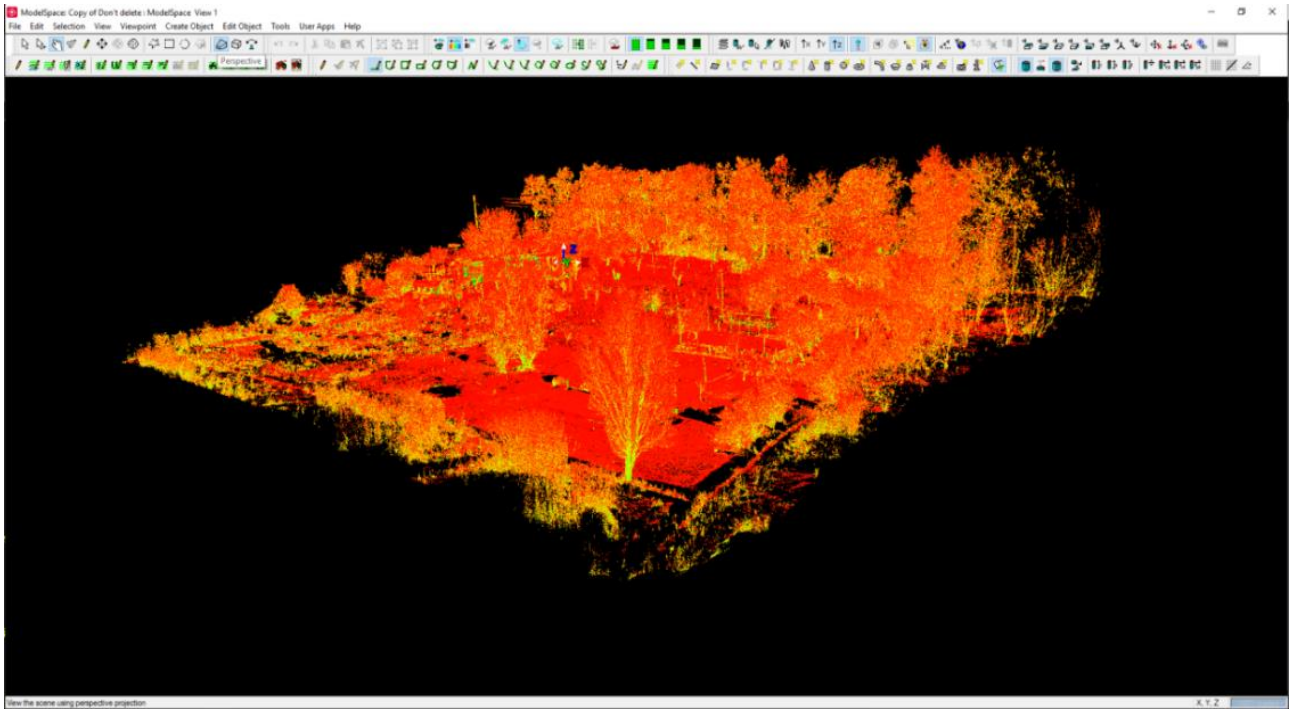


Рис. 12 – Зображення вихідної хмари точок (вид збоку – перспективна проекція)

Для створення межі ділянки використовувався інструмент «Polyline» (Полілінія). Наступним етапом було очищення хмари точок. На рис. 13 показані межі земельної ділянки.

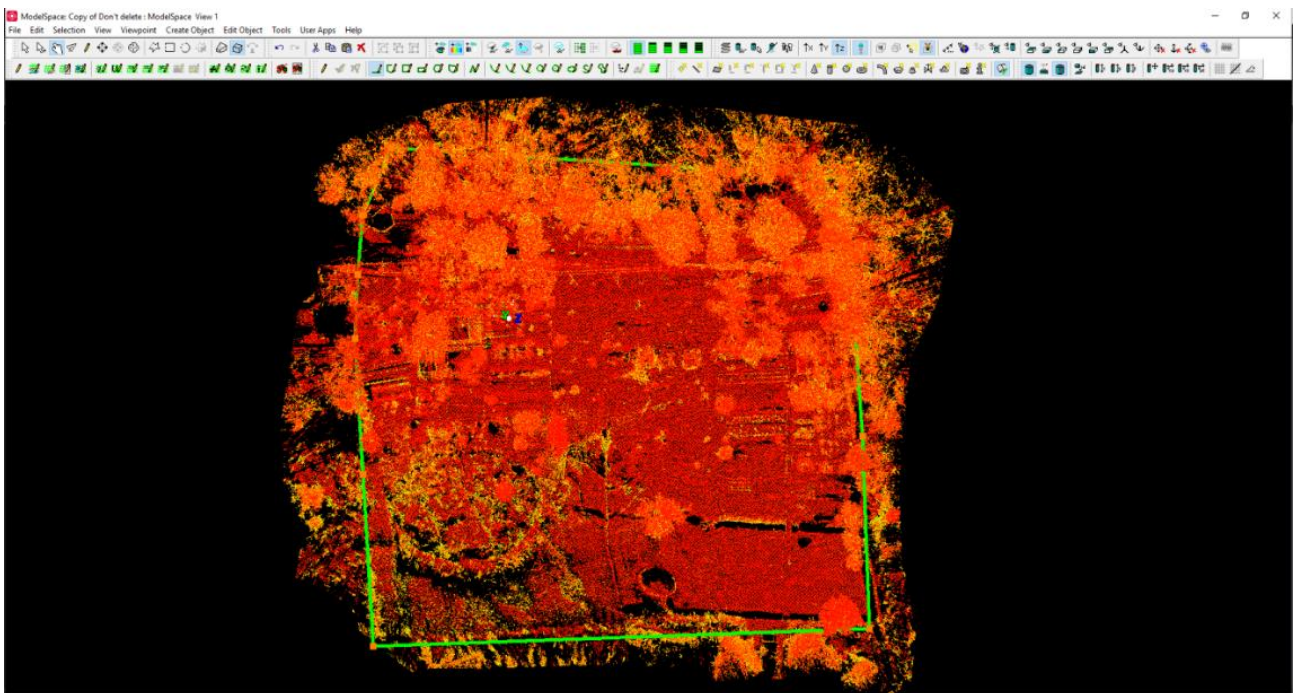


Рис. 13 – Відображення меж земельної ділянки за допомогою полілінії

2.2.2. Очищення окремих хмар точок

У попередньому підрозділі були створені межі ділянки, але на зображенні залишилися хмари точок, які не входять в межі цих кордонів і їх необхідно видалити. Також для створення Mesh-моделі необхідно очистити хмару точок, щоб в кінцевому підсумку залишився тільки рельєф. Для цього потрібно видалити дерева, кущі, високу траву, споруди, прилади, людей і шуми (перевідбитий сигнал). На рис. 14, для прикладу, представлений процес видалення об'єкта «Людина», який не відноситься до зображення рельєфу.

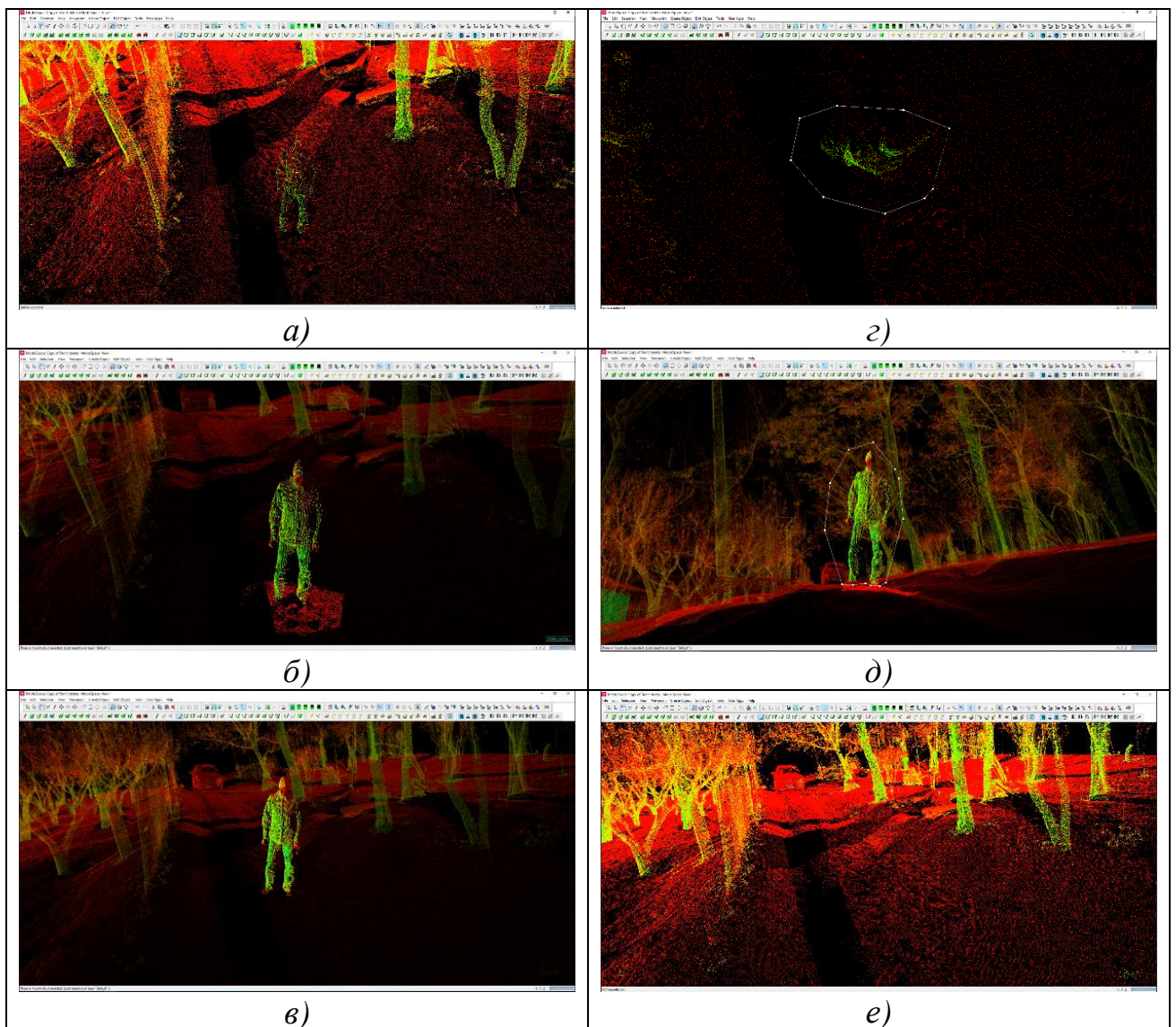


Рис. 14 – Поетапний процес видалення об'єкта «Людина»: а), б), в), г), д) та е) – етапи видалення об'єкту

Після проведення видалення всіх зайвих об'єктів, що не відносяться до рельєфу, була отримана хмара точок представлена на рис. 15 (вигляд збоку).

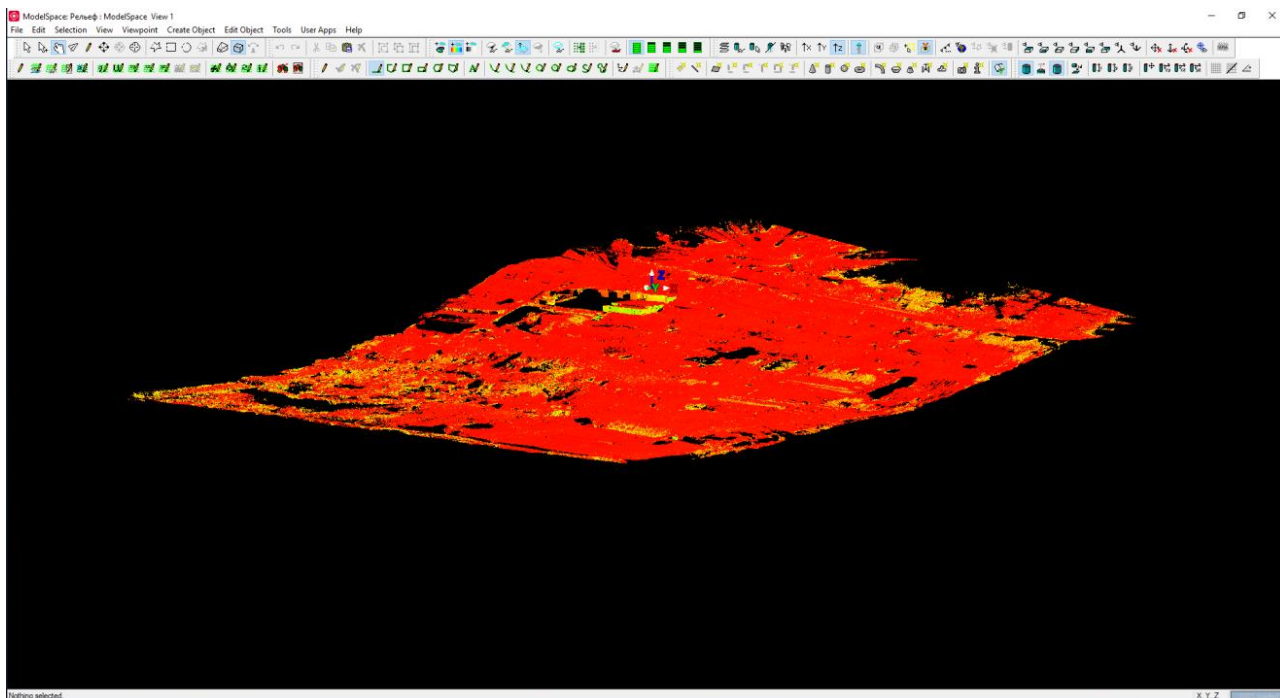


Рис. 15 – Зображення очищеної хмари точок від елементів, що не відносяться до рельєфу (вид збоку)

2.2.3. Створення Mesh-моделі рельєфу земельної ділянки

На даному етапі виконувалося створення Mesh-моделі рельєфу земельної ділянки. Для цього на панелі інструментів вибиралася та опрацьовувалася опція «Create Mesh» (Створення мережі, підпункт TIN), в результаті чого була отримана нерегулярна триангуляційна мережа. (рис. 16).

2.2.4. Створення горизонталей і висот земельної ділянки

Наступним етапом був етап створення горизонталей по рельєфу земельної ділянки. Для цього були побудовані контурні лінії, які створювалися з будь-якого об'єкта мережі, але найкраще створюються з мережі TIN через однорідності властивостей. Для створення вершини на панелі інструментів обрана опція «Create Vertex» (Вершина). Потім була відображена висота обраної точки за допомогою інструменту «Elevation» (Висота).

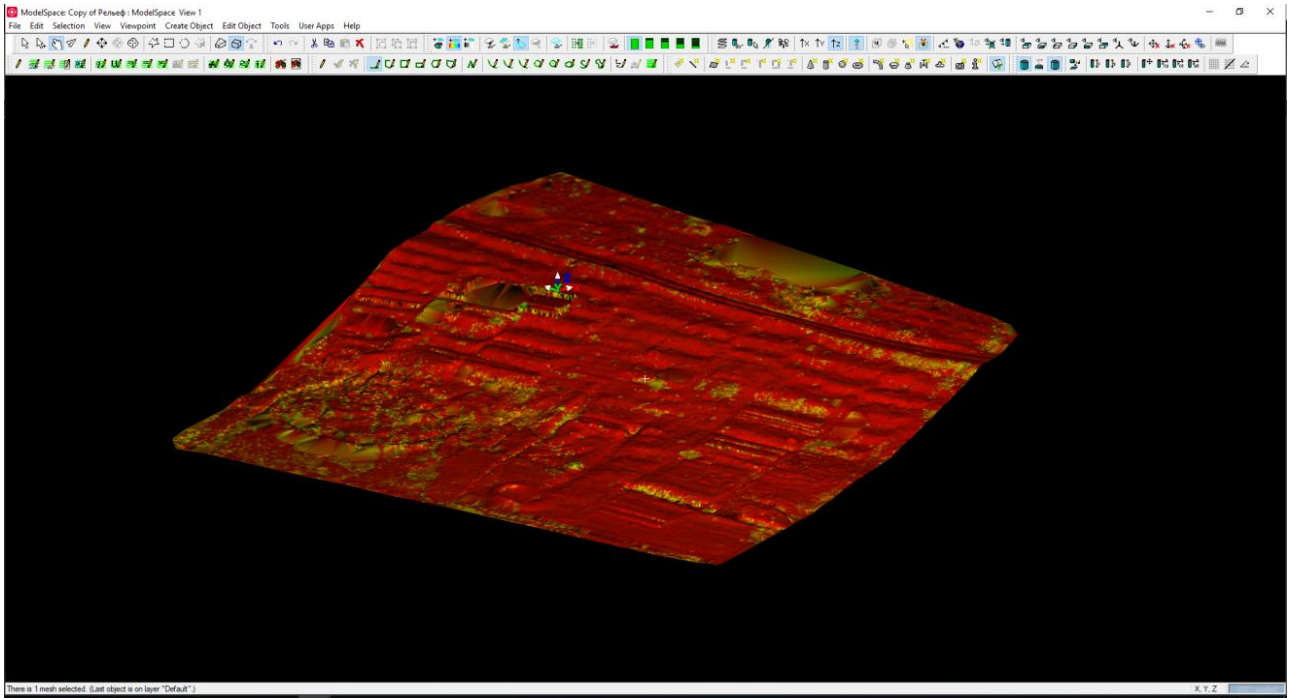


Рис. 16 – Зображення Mesh-моделі рельєфу земельної ділянки (вид збоку)

Потім була створена необхідна кількість точок і відображені висоти по ним (рис. 17). Для зручності сприйняття хмари точок її колір був змінений. Виконано експорт висот точок в формат *.txt.

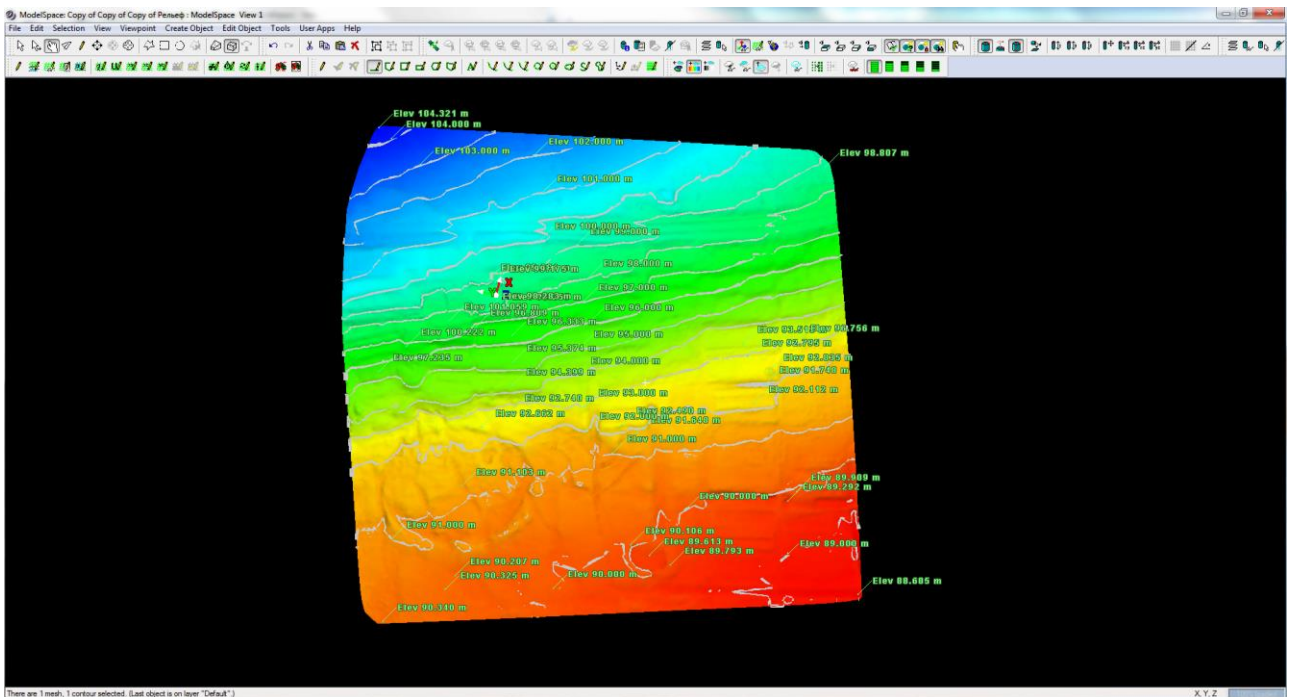


Рис. 17 – Відображення рельєфу земельної ділянки зі створеними висотами

2.3. Створення топографічного плану місцевості земельної ділянки

Для топографічного плану місцевості земельної ділянки використовувався програмний продукт Autodesk AutoCAD.

У роботі для створення топографічного плану місцевості земельної ділянки було виконано 5 кроків:

1. Імпорт горизонталей у проект.
2. Завантаження хмари точок.
3. Створення об'єктів, які знаходяться на території земельної ділянки використовуючи додаткові модулі «МенюГЕО» та «GeoApp».
4. Оформлення отриманого креслення.
5. Імпорт креслення у форматі *.pdf.

Після виконання усіх процедур зі створення топографічних знаків заданих об'єктів та завантаження у проект точок з висотами було отримано креслення по земельній ділянці, яке відображене на рис. 18 та 19.

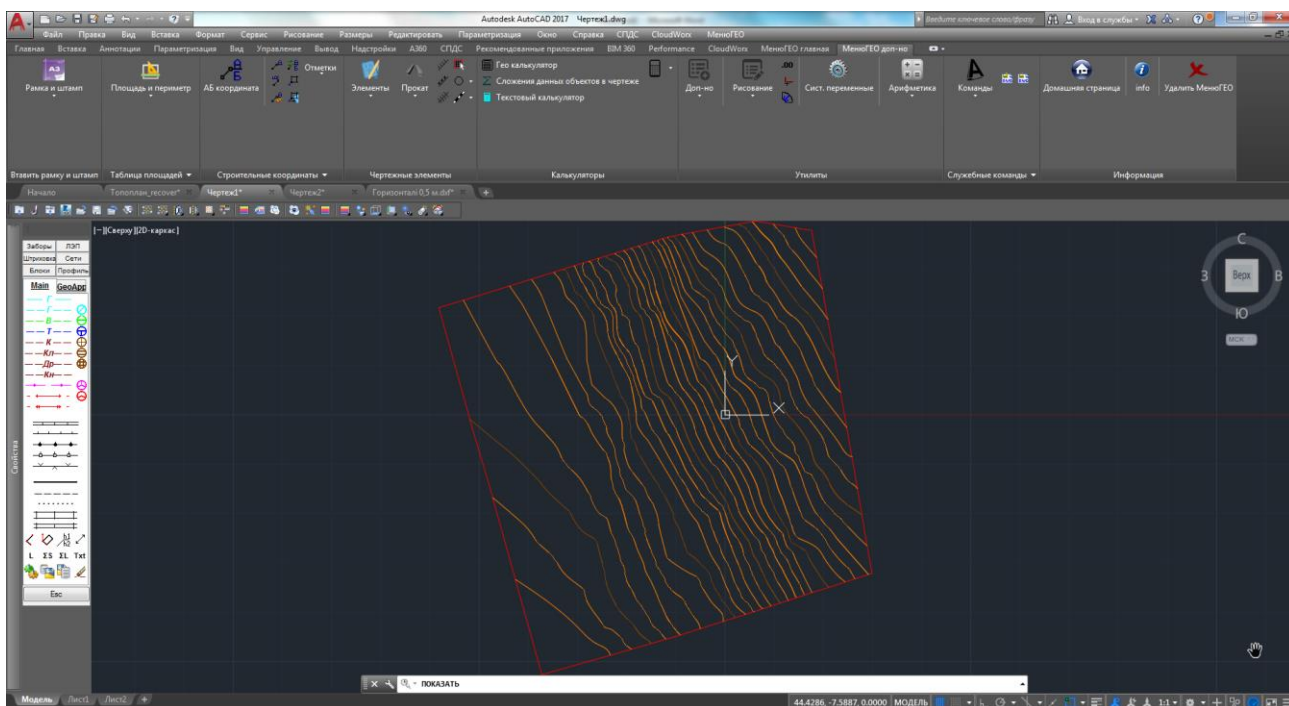


Рис. 18 – Зображення меж земельної ділянки та згладжених горизонталей за допомогою додаткового модуля «МенюГЕО»

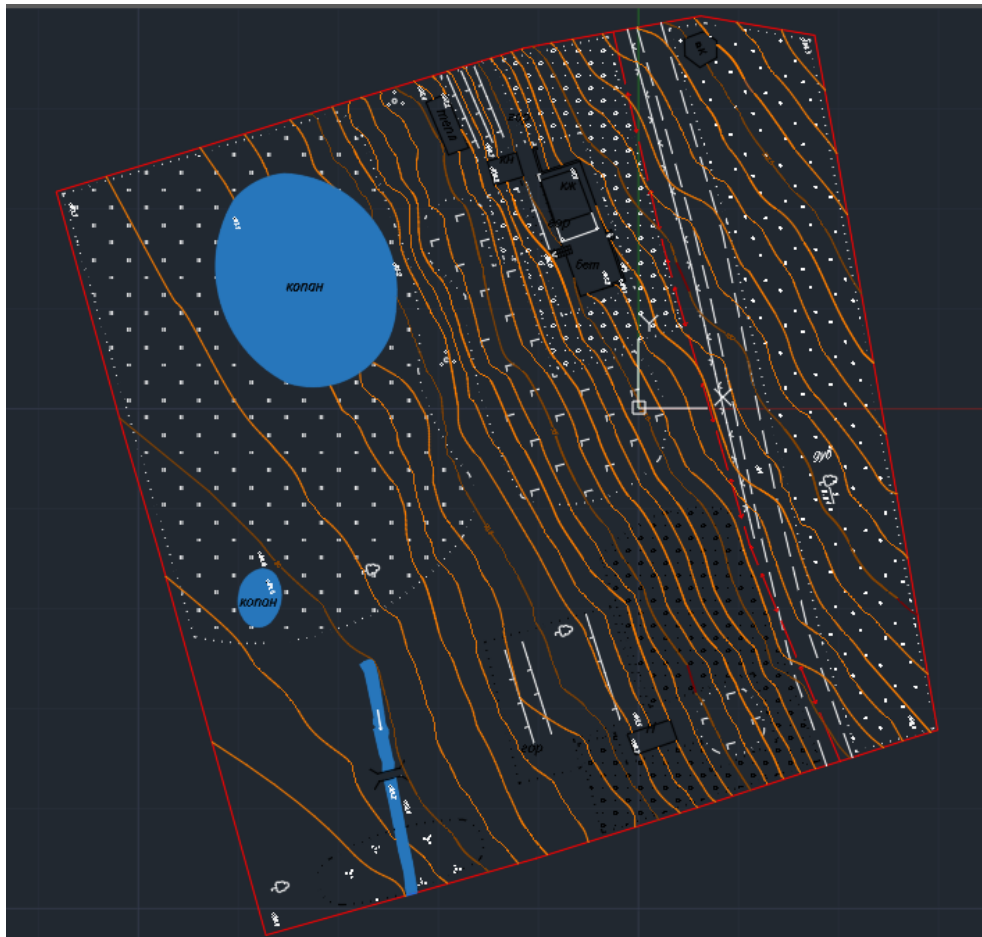


Рис. 19 – Креслення з відображенням об’єктів, які знаходяться на земельній ділянці

Далі необхідно було завантажити у проект шаблон, який використовувався для оформлення креслень. Були визначені розміри креслення та обраний розмір листа, у нашому випадку – лист розміру А3 у горизонтальній орієнтації з розмірами 420 мм у довжину та 293 мм у висоту (додаток 1).

Для розміщення креслення на обраному шаблоні, був заданий його масштаб – 1:500, також додані заголовки, умовні позначення, примітки, позначення сторін світу та внесені надписи в штампі шаблону, який знаходиться у нижній правій частині.

Останнім кроком виконання цього етапу було збереження проекту у форматі *.pdf. За допомогою опції «Печать» був обраний формат файлу, якість растрового зображення тощо, після задавання усіх необхідних параметрів був заведений процес експорту та отримане зображення у форматі *.pdf.

2.4. Створення тривимірної моделі земельної ділянки

Для створення тривимірної моделі заданої ділянки використовувався програмний продукт Autodesk Revit. Для цього було здійснено 5 кроків:

1. Створення топоповерхні;
2. Завантаження хмари точок;
3. Створення тривимірних об'єктів на топоповерхні;
4. Створення додаткових сімейств зображень (опори електромережі);
5. Заповнення топоповерхні готовими шаблонами об'єктів (дерева, кущі).

При виконанні першого кроку був завантажений рельєф місцевості за імпортованими даними в форматі *.txt на вкладці «Форми і генплан» та отримано реалістичне зображення поверхні земельної ділянки.

При виконанні другого кроку була завантажена хмара точок. Для цього здійснювався перехід на вкладку додаткового модуля «CloudWorx» (рис. 20), який призначений для конвертації хмари точок в перехідні формати.

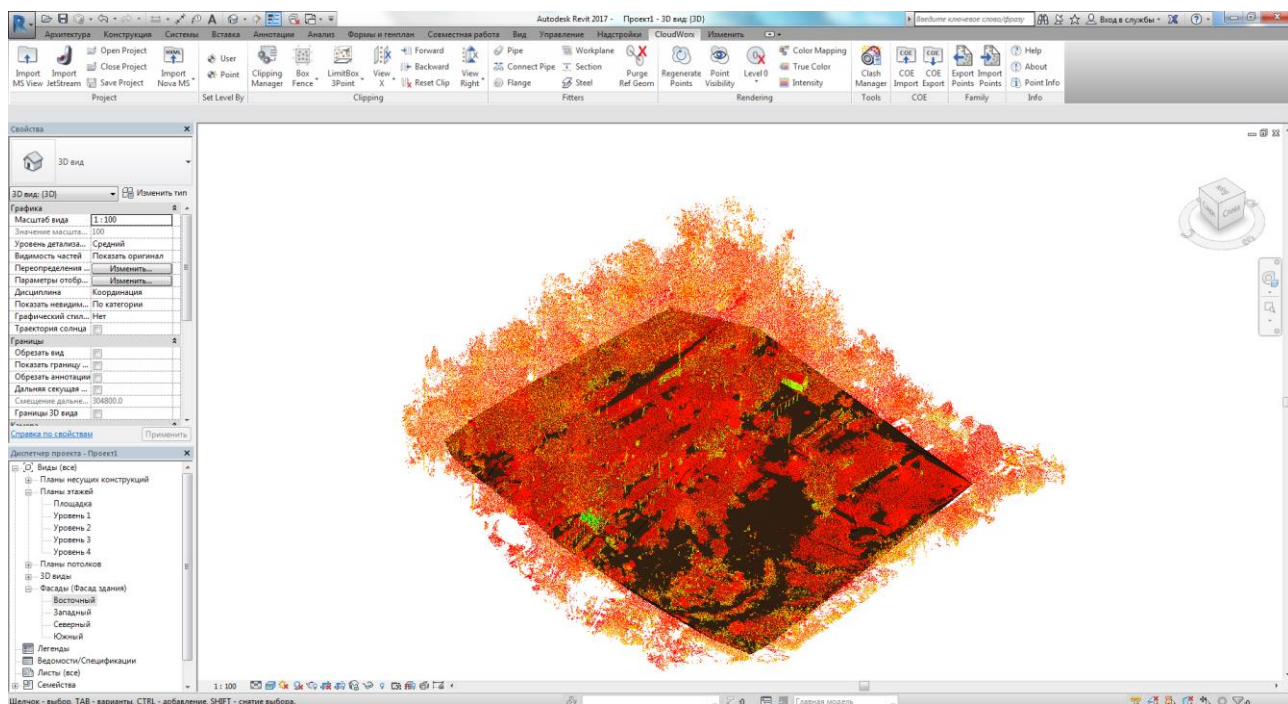


Рис. 20 – Зображення хмари точок, завантаженої за допомогою додаткового модуля CloudWorx

Третій та четвертий кроки передбачали створення тривимірних зображень об'єктів по поверхні розглянутої ділянки. Подальші дії, що виконувалися при реалізації цих кроків, розглянуті на прикладі створення 3D моделі об'єкту «Будинок». Для цього із загальної хмари точок, створеної в попередніх підрозділах роботи, була обрана ділянка даної хмари із зображенням «скану» будинку, а інші ділянки хмари точок приховані. На рис. 21 показано одне із зображень хмари точок будинку до його перетворення у тривимірну модель. Аналогічним чином створювалися і додавалися на топоповерхність інші тривимірні об'єкти: другий і третій будинок, теплиця, паркан, дорога, колодязь, канал, два ставки, місток й ін.

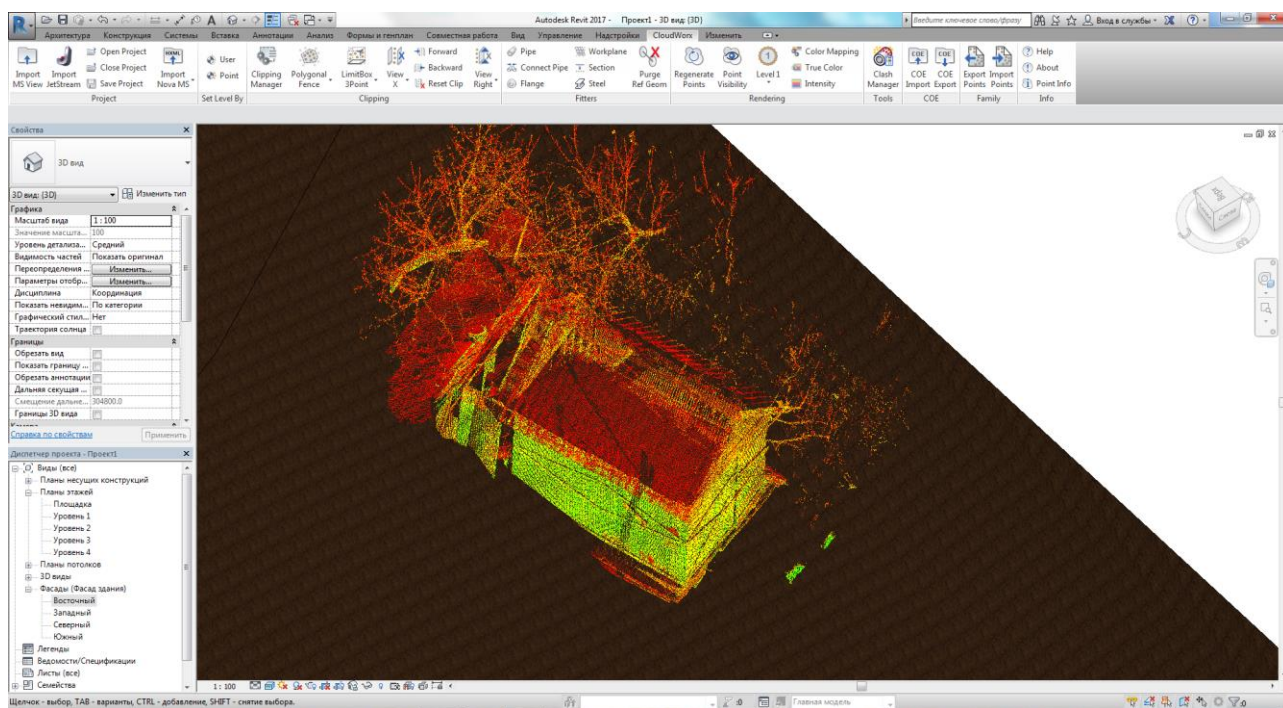


Рис. 21 – Зображення фрагменту «Будинок» у вигляді хмари точок (вид збоку).

Завершальним кроком було додавання стандартних шаблонів сімейств типу «Дерево», «Кущ» тощо для візуального відображення об'єктів цього типу, які знаходяться на земельній ділянці. Далі було отримано тривимірне зображення розглянутої земельної ділянки, для чого попередньо обирався режим відображення інтерактивного трасування сонячних променів для реального сприйняття ділянки (рис. 22).



Рис. 22 – Зображення тривимірної моделі земельної ділянки.

Отже, виходячи із вищезазначених задач дослідження, за допомогою технології наземного лазерного сканування були отримані наступні результати: топографічний план місцевості земельної ділянки у масштабі 1:500, побудований у програмному продукті Autodesk AutoCAD з нанесенням усіх об'єктів і споруд, що знаходяться в межах ділянки сканування, а також відтворенням меж земельної ділянки та тривимірна модель земельної ділянки, побудована у програмному продукті Autodesk Revit.

ВИСНОВКИ

В ході проведеного дослідження авторським колективом були проаналізовані апаратно-технічні засоби та обґрунтовано вибір технології та технічних засобів, які використовувалися для вирішення поставлених науково-практичних задач, а також вивчені питання можливості використання технології наземного лазерного сканування для створення бази даних щодо стану потенційно-небезпечної зсувонебезпечної території, де за результатами багаторічних натурних спостережень відбувалися локальні зсуви ґрунту та руйнування будівель і споруд, які на ній розташовані. Досліджувана земельна ділянка знаходиться у селі Великі Проходи Дергачівського району Харківської області. Площа ділянки становить 40 соток, територія має виражені перепади висот рельєфу приблизно у 14 метрів.

В процесі проведення експериментальних досліджень в польових умовах за допомогою лазерного сканера Leica RTC 360, який належить Харківському НВП ТОВ «Навігаційно-геодезичний центр» та використовувався на підставі домовленостей про співпрацю, було отримано близько 39 мільйонів координатних точок і 16 окремих «сканів», які пов'язані між собою за допомогою інерційної системи VIS програмного забезпечення лазерного сканера Cyclone Field 360.

Запропонована методика була випробувана в процесі виконання поставлених в роботі задач та отримані наступні результати:

- 1) Побудовано у програмному продукті Autodesk AutoCAD Топографічний план земельної ділянки, у масштабі 1:500, з нанесенням усіх об'єктів і споруд, що знаходяться в межах ділянки сканування, а також відтворенням меж земельної ділянки. Горизонталі проведені через кожні 0,5 метра. Формат кінцевого файлу – *.pdf.

- 2) Створено Тривимірну модель земельної ділянки, побудовану у програмному продукті Autodesk Revit. Формат кінцевого файлу – *.rvt.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. History of 3D-scanners [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.modena.co.za/history-of-3d-scanners/> – 17.10.2019.
2. Intergeo 2013. Германия. Лазерное сканирование [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/198118/> – 17.10.2019.
3. Наземное лазерное сканирование [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://dalgeokom.ru/news/nazemnoe-lazernoe-skanirovanie/> – 17.10.2019.
4. История компании Faro [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://acropol-geo.ru/o-texnologii/228-istoriya-kompanii-faro> – 15.10.2019.
5. Маліцький А., Лозинський В. Аналіз наземних лазерних 3d-сканерів та сфера їх застосування [Електронний ресурс] Режим доступу: file:///C:/Users/Home/Downloads/sdgn_2014_1_6.pdf – 20.10.2019.
6. Тревого І., Баландюк А., Григораш А. Аналіз технологічних можливостей сучасних наземних лазерних сканерів // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2010. – Вип. 1 (19), С.170.176.
7. Шевченко Т.Г. Геодезичні прилади / Т.Г. Шевченко, О.І. Мороз, І.С. Тревого. – Л.: Львівська політехніка, 2006. – 459 с.
8. Применение мобильного лазерного сканирования при изысканиях и проектировании [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://docplayer.ru/53390419-Primenenie-mobilnogo-lazernogo-skanirovaniya-pri-izyskaniyah-i-proektirovanii-zheleznyh-dorog-kratkiy-obzor.html> – 25.10.2019.
9. Фролов А. Технологии трехмерного лазерного сканирования // Лазерное сканирование. – 2006. – С. 57.
10. Широкова Т.А., Антипов А.В., Арбузов С.А. Определение изменений на местности с применением данных лидарной съемки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. научн. конгр., 10-20 апр. 2012 г., Новосибирск. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». сб. матер. в 2 т. Т. 1. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 38-45.

11. Середович В.А. Особенности применения данных различных видов лазерного сканирования при мониторинге природных и промышленных объектов. – Новосибирск: СГГА, 2013. – С.141-144.

12. Романишин І., Маліцький А., Лозинський В. Класифікація та основні характеристики наземних 3D-сканерів // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2012. – Вип. II(24). – С.69-74.

13. Лазерный сканер Leica RTC 360 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://ngc.com.ua/p/864-leica-rtc360.html> – 20.10.2019.

14. Leica RTC 360 User Manual [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.manualslib.com/manual/1516901/Leica-Rtc360.html> – 20.01/2019.

15. Лазерное сканирование и последующая обработка данных в 3D для повышения качества управления промышленными объектами [Электронный ресурс] Режим доступа: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18039 – 03.11.2019.

16. Leica Cyclone FIELD 360 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-field-360> – 07.11.2019.

17. Leica Cyclone FIELD 360 mobile-device [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://Leica%20Cyclone%20FIELD%20360%20DS%20872719%200419%20en%20LR%20> – 07.11.2019.

18. Leica Cyclone REGISTER 360 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-register-360> – 08.11.2019.

19. Leica Cyclone REGISTER 360 version 1.5.0 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://nordicpointclouds.net/files/InstallationMedia/Leica%20Cyclone%20REGISTER%20360%20> – 08.11.2019

20. Программное обеспечение Cyclone [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://geosystems.ru/shop/programmnoe-obespechenie-ain/programmnoe-obespechenie-cyclone/> – 09.11.2019.

21. Leica Cyclone Model [Электронный ресурс] Режим доступа:

https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/cyclone/brochures-datasheet/cyclone_viewer_pro_ds_us.pdf – 15.11.2019.

22. Малюх В. Н. Введение в современные САПР: Курс лекций. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.

23. Ланцов А. Л. Компьютерное проектирование в архитектуре. ArchiCAD 11. – СПб.: «ДМК-Пресс», 2007. – 800 с.

24. А. Л. Ланцов. ArchiCAD 8.x и его окружение. – М.: «Кудиц-образ», 2005.

25. Leica CloudWorx for AutoCAD [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cloudworx/leica-cloudworx-autocad> – 19.11.2019.

26. Revit Architecture [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/products/revit/overview> – 25.11.2019.

27. Возможности Revit [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/products?compare=revit&compare=rvt#> – 25.11.2019.

28. Leica CloudWorx for Revit <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cloudworx/leica-cloudworx-revit> – 25.11.2019.

29. Шаммс Мортье, Autodesk 3Ds Max 9 для «чайников». 3D Studio Max 9: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Диалектика», 2007. – 384 с.

30. Возможности Autodesk 3Ds Max [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/products?compare=3dsmax&compare=rvt#> – 27.11.2019.

31. Картографічний ресурс Google Map [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.google.com.ua/maps/@50.4851493,30.4721233,14z?hl=ru> – 30.11.2019.

32. Методичний посібник Cyclone and HDS, Leica Geosystems. – 369 с.