

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Створення ЦМР для вирішення прикладної задачі з рекультивації
земель порушених через відкриті гірничодобувні роботи»

Виконав: студент 4 курсу, групи ГІСТ-41

напряму підготовки (спеціальності)

193 “Геодезія та землеустрій”

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Мічкін О.Д.

(прізвище та ініціали)

Керівник Горковчук Д.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Максимова Ю.С.

(прізвище та ініціали)

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Інститут, факультет Геоінформаційних систем і управління територіями
Кафедра Геоінформатики і фотограмметрії
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Напрямок підготовки 193 “Геодезія та землеустрій”

(шифр і назва)

Спеціальність 7.08010105 “Геоінформаційні системи і технології”

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ проф., д.т.н. Карпінський Ю. О.

“27” квітня 2022 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Мічкіну Олександрю Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): Створення ЦМР для вирішення прикладної задачі з
рекультивациі земель порушених через відкриті гірничодобувні роботи

Керівник проекту (роботи): доцент Горковчук Денис Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “27” квітня 2022 року
№287/2

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2022

3. Вихідні дані до проекту (роботи) аерофотознімки кар'єру з БПЛА (390 шт.)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити)

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Рекультивациа порушених земель

1.2 Проект рекультивациі

1.3 Використання ЦМР при проектуванні рекультивациі порушених земель.

1.4 Створення ЦМР кар'єру фотограмметричними методами за допомогою
БПЛА

РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ЦМР

2.1 Постанова задачі

2.2 Оцінка якості вихідних даних

2.3 Створення ЦМР в програмному забезпеченні Agisoft Metashape

2.4 Розрахунок об'єму кар'єру у програмних забезпеченнях CloudCompare,
QGIS, ArcGIS

2.5 Побудова фінальної поверхні рельєфу

2.6 Аналіз методів та їх результатів

2.7 Висновок до розділу
РОЗДІЛ 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ
КАР'ЄРУ
3.1 Вибір методу рекультиваци
3.2 Охорона праці
ВИСНОВКИ
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ
ДОДАТКИ

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Доц. Горковчук Д.В.	11.05.2022	
2	Доц. Горковчук Д.В.	14.05.2022	
Доповідь	Доц. Горковчук Д.В.	20.06.2022	

7. Дата видачі завдання 21/03/2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)
1	Ознайомлення з законодавством та вимогами стосовно рекультиваци земель	1 тиждень
2	Опис теорії, технології та методів розв'язання задачі	1 тиждень
3	Вибір програмного забезпечення	2 дні
4	Аналіз вихідних даних, постановка задачі	5 днів
5	Створення ЦМР	2 дні
6	Розрахунок об'ємів зем. робіт	5 днів
7	Висновки, оформлення роботи та презентації	2 тижні

Студент

(підпис)

Мічкін О.Д.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Горковчук Д.В.
(прізвище та ініціали)

Зміст

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	8
1.1 Рекультивація порушених земель	9
1.2. Проект рекультивації.....	12
1.3 Використання ЦМР при проектуванні рекультивації порушених земель.	13
1.4 Створення ЦМР кар'єру фотограмметричними методами за допомогою БПЛА	17
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ЦМР	22
2.1 Постанова задачі.....	23
2.2 Оцінка якості вихідних даних.....	23
2.3 Створення ЦМР в програмному забезпеченні Agisoft Metashape.....	24
2.3.1 Зрівнювання фотознімків	24
2.3.2 Прив'язка знімків маркерами.....	25
2.3.3 Побудова mesh-моделі.....	26
2.3.4 Фільтрація моделі.....	27
2.3.5 Створення Цифрової Моделі Рельєфу	28
2.4 Розрахунок об'єму кар'єру у програмних забезпеченнях CloudCompare, QGIS, ArcGIS	29
2.4.1 QGIS спосіб 1.....	29
2.4.2 QGIS спосіб 2.....	30
2.4.3 CloudCompare	33
2.4.4 ArcMap.....	34
2.5 Побудова фінальної поверхні рельєфу	34
2.6 Аналіз методів та їх результатів	35
2.6.1 QGIS спосіб 1.....	36
2.6.2 QGIS спосіб 2.....	36
2.6.3 ArcMap.....	37
2.6.4 CloudCompare	38
2.7 Висновок до розділу	38
РОЗДІЛ 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ КАР'ЄРУ	40
3.1 Вибір методу рекультивації	41
3.1.1 Повернення земель до с\г угідь	42

3.1.2 Затоплення кар'єру	44
3.2 Охорона праці.....	46
ВИСНОВКИ.....	47
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
ДОДАТКИ.....	52

ВСТУП

Всього в Україні зареєстровано близько 100 діючих гранітних та 20 пісочних кар'єрів [5]. Згідно з Кодексом України «Про Надра» ст.24 п.4 після того як всі ресурси кар'єру будуть вичерпані, власник кар'єру зобов'язаний привести ділянки, порушені при користуванні, в стан, придатний для подальшого використання у суспільному виробництві.

Відпрацьовані гранітні кар'єри, зазвичай, не несуть прямої екологічної небезпеки, проблема в зниженні площі посівних земель. Перш за все, від цього потерпає сільськогосподарська промисловість. Для відновлення земель проводять комплекс робіт – рекультивацію. Важливо розуміти, що рекультивація - це підготовка землі для використання наступними поколіннями. Тому це дуже важливий та відповідальний процес.

За даними з інтернет-джерел [6], станом на березень 2022 року, у Житомирській області зареєстровано 15 діючих гранітних кар'єрів. Деякі з них розташовані досить близько до населених пунктів і в перспективі повинні бути рекультивовані.

У Житомирській області спостерігається тенденція на затоплення кар'єрів в якості їх рекультивації. Цей спосіб економічно доцільніший для великих та глибоких кар'єрів. Утворені водойми приваблюють туристів своєю чистою водою: Коростишівський, Тарасівський, «Високий камінь», Соколовський кар'єри – найпопулярніші. Інші штучні водойми виконують корисні функції для локальних земель. Наприклад використання води для зрошення сільськогосподарських культур, або розведення рибного господарства.

Сміттєві полігони по своїй структурі схожі на кар'єри, більш того, відпрацьовані кар'єри можуть бути використані в якості сміттєзвалищ. Із розвитком технологій по переробці сміття, полігони можна поступово звільнити, але його токсичний ґрунтовий покрив не дасть змоги використовувати землі в іншому напрямі. Тому для цього також розроблені спеціальні технології рекультивації.

Інший актуальний випадок – відновлення рельєфу порушеного внаслідок виконання вибухово-саперних робіт.

Основною задачею геодезії в процесі рекультивації є визначення об'ємів земляних робіт. Це можливо зробити маючи відмітки висоти на верхніх та нижніх краях ухилів та на поверхні дна котловану. Але в кар'єрі форми рельєфу можуть бути значно складнішими, які потребують більш детального опису, а значить більше часу. До того ж через можливі зсуви, круті схили та токсичність повітря, полігон або кар'єр представляє собою небезпечну місцевість для тривалого перебування, та проведення геодезичних робіт. Тому для цього пропонується використання фотограмметричних методів з використанням БПЛА. Порівняння цього способу з класичним наземним GPS вимірюваннями висвітлено у деяких дослідженнях [7], з яких можна зробити висновок, що результати вимірювань двома способами відрізняються не суттєво, при цьому використання БПЛА дозволяє зменшити час перебування на об'єкті знімання.

Враховуючи що з 2014 року технічні засоби постійно удосконалювалися, на сьогодні маємо такі пристрої як лазерні сканери та компактні камери з великою роздільною здатністю, можна сміливо сказати що методи фотограмметрії є точними та практичними для проведення робіт з розрахунків об'ємів кар'єрів.

Мета роботи: Розрахувати об'єм земляних робіт для технічного завдання проекту рекультивації кар'єру, використовуючи методи фотограмметрії та побудови ЦМР.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Рекультивація порушених земель

Рекультивація порушених земель – це комплекс організаційних, технічних і біотехнологічних заходів, спрямованих на відновлення ґрунтового покриву, поліпшення стану та продуктивності порушених земель. **Порушеними землями** називають землі, які в результаті господарської або іншої діяльності втратили свою господарську цінність, повністю частково втратили родючість, або є джерелом несприятливого впливу на навколишнє середовище через утворення техногенного рельєфу. Рекультивації підлягають землі, рельєф яких був змінений внаслідок проведення гірничодобувних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт [1 ст.166].



Рис. 1.1 Янцевський гранітний кар'єр

Основною метою рекультивації є відновлення рельєфу та повернення земель до придатного для ведення господарства.

Напрямки використання порушених земель після рекультивації:

1. Сільськогосподарський – створення на порушених землях сільськогосподарських угідь. При цьому дотримуються такі вимоги:

- Формування ділянки, зручних для використання по розміру та формі, поверхневий шар яких повинен бути придатним для біологічної рекультивації
- При плануванні ділянок забезпечити подальше промислове використання сучасної техніки в с/г та виключення розвинення ерозійних процесів та зсувів.

- Нанесення родючого шару ґрунту на малопродатні породи при підготовці земель під пашню.
- Використання потенційно родючих порід з проведенням спеціальних агротехнічних заходів при відсутності або недостатчі родючих шарів землі.
- Проведення інтенсивних меліоративних заходів для відновлення та збагачення шару землі органічними речовинами.
- Отримання заключення про відсутність виносу рослинами токсичних рідин.

2. Лісогосподарський – створення на порушених землях лісових насаджень, господарського та полезахисного призначення. При цьому дотримуються такі вимоги:

- Створення насаджень експлуатаційного призначення, лісів захисного, водорегулюючого та рекреаційного призначення.
- Створення рекультивованого шару на укосах матеріалом, придатним для вирощування лісів.
- Планування ділянок, що не допускає розвинення ерозійних процесів та забезпечують безпечну експлуатацію техніки для лісопосадки.
- Створення лісових насаджень які виконують меліоративні функції.
- Підбір рослин в залежності від класифікації горних порід, та інших факторів.
- Організація протипожежних заходів.

3. Водне господарство – створення у виїмках техногенного рельєфу водойм господарсько-побутового, промислового призначення, для зрошення та рибиництва. При цьому дотримуються такі вимоги:

- Створення водойм різноманітного призначення у кар'єрних виїмках, траншеях, деформованих ділянках.
- Комплексне використання водойм переважно для водопостачання, рибиництва та рекреаційних цілей.
- Спорудження відповідних гідротехнічних споруд, необхідних для затоплення виїмок та підтримання в них розрахункового рівня води.

- Запобігання утворенню зсувів та розмивання.
- Захист дна та берегів від можливої фільтрації.
- Запобігання потрапляння у воду кислих або лужних підземних вод та підтримання сприятливого режиму і складу води відповідно з санітарно-гігієнічними нормами.

- Заходи щодо благоустрою території та озеленення прибережної зони.

4. Рекреаційний напрям – створення на порушених землях зон відпочинку та спорту, парків, водойм для оздоровчих цілей, мисливські угіддя, турбази. Вимоги до рекультивації:

- Вертикальне планування території з мінімальним об'ємом земляних робіт, збереження форм рельєфу.

- Забезпечення стабільності ґрунтів при будівництві споруд для відпочинку та спорту.

5. Природоохоронний – приведення порушених земель в стан, придатній для використання в природоохоронних цілях: протиерозійні лісові насадження, задерновані або заводнені ділянки, закріплені або законсервовані технічними засобами, ділянки самозростання – без використання в господарських або рекреаційних цілях.

6. Будівельний напрям – приведення порушених земель в стан, придатний для промислового, цивільного та іншого будівництва.

7. Санітарно-гігієнічний напрям – біологічна або технічна консервація порушених земель, які спричиняють негативний вплив на середовище, рекультивація яких є економічно не вигідно.[8]

Також на рекультивованих землях спостерігається підвищена врожайність, через те що при виїмці ґрунту видаляються шари піску та гравію, а родючий шар лежить ближче до ґрунтових вод.

Після закінчення робіт по рекультивації відновлені землі повертаються до попереднього землевласника.

1.2. Проект рекультивації

Відповідно до Кодексу України про надра, гірничодобувні підприємства повинні провести рекультивацію порушених земель. Після завершення видобувних робіт у кар'єрі можливі різні варіанти подальшого використання території. Але перевагу слід віддати створенню сільськогосподарських угідь.

Однією з вимог рекультивації є розробка проекту. Проект гірничотехнічної рекультивації розробляється відповідно до Закону України «Про охорону земель» (962-IV від 27.05.2021), на першому підготовчому етапі.

Рекультивацію земель як правило виконують в три етапи:

- Підготовчий – обстеження порушених земель та складання техніко-економічних обґрунтувань та робочих проектів.
- Гірничотехнічний – нанесення родючого шару, формування укосів, поховання токсичних відходів, створення умов для подальшого використання земель.
- Біологічний – комплекс робіт направлених на поліпшення властивостей ґрунту.

При відновленні земель для розміщення сільськогосподарських угідь передбачається проведення таких робіт:

- Розроблення топографічних планів та профілів місцевості
- Відновлення рельєфу, планування ухилів
- Розрахунок площі придатних земель, отриманих в результаті рекультивації
- Розрахунок об'ємів земляних робіт
- Відновлення зеленої зони, висадження дерев
- Спорудження технічних споруд

Приклад топографічного плану наведено у додатку Д.

В залежності від виду рекультивації, можливе використання різних шарів для покриття. Наприклад, для рекультивації сміттєвих полігонів відходи спочатку утрамбовують, а потім засипають ізолюючим шаром. Для створення водойми в якості покриття можна використовувати глину та пісок. Для відновлення

рельєфу використовуються зняті породи, які як правило зберігаються впродовж експлуатації кар'єру.

1.3 Використання ЦМР при проектуванні рекультивації порушених земель.

До 1970 років, окрім художніх картин, методів тривимірного представлення рельєфу не існувало. Це не давало змогу мати точне уявлення про форми рельєфу на двовимірному зображенні. Згодом, знімки землі почали використовувати для утворення стереоскопічного ефекту, шляхом суміщення з перетином (зазвичай 60%), двох послідовних знімків. Цей метод називається фотограмметрією.

З середини ХХ століття, разом з комп'ютерними набули розвитку технології в сфері цифрового подання рельєфу. Цифрові моделі рельєфу (далі ЦМР) можна представити математично та графічно. Поширеними математичними способами є Ряд Фур'є та поліноми. Представлення поверхні землі графічними способами є: регулярна та нерегулярна сітка, ізолінії, профіль місцевості.

Фізична модель – це зменшена копія оригіналу, така модель зазвичай виконана із якогось матеріалу, пластик, гума або глина. Але якщо об'єкт надто важко або неможливо відтворити у природі, розглядається інший тип.

Математична модель – представляє об'єкт або явище в математичних виразах, таких як функції, постійні, змінні і т.д.

Для оцінки якості, запроваджені такі шість критеріїв:

1. *Правильність*: результати моделювання коректні або майже коректні.
2. *Реалістичність*: в основі моделі коректні припущення
3. *Точність*: хар-ки моделі загально відповідають реальності.
4. *Надійність*: здатність приймати помилкові дані без наслідків
5. *Загальність*: використання її для різноманітних ситуацій

6. *Плідність*: результати є корисними, дають можливість відрізнити хороші моделі від поганих.

До цього списку було додано ще один критерій, *простота*: використання у моделі найменш можливої кількості параметрів.

ЦМР, (DTM) – цифрове подання рельєфу у вигляді тривимірного покриття.

Альтернативними поняттями DTM за кордоном є:

DEM (Digital Elevation Model) – модель висот, США;

DHM (Digital Height Model) – подібний до DEM, Німеччина;

DGM (Digital Ground Model) – цифрова модель суцільної поверхні Землі, Великобританії;

DTED (Digital Terrain Elevation Data) – регулярні масиви даних висоти, Національне агентство геопросторової розвідки США (NGA).

ЦММ (цифрова модель місцевості) або DSM (Digital Surface Model) – формалізоване подання природних та штучних форм рельєфу, а також контурів та висот будівель і інженерних споруд.

Така різноманітність понять пов'язана з тим що термін *поверхні* у різних сферах має своє значення для спеціалістів.

ЦМР може включати у себе наступні чотири групи (топографічної та нетопографічної) інформації:

1. Рельєф, перепади висот, ухили та інші складні форми.
2. Особливості місцевості, такі як гідрографія (річки, озера, берегові лінії), транспортні мережі (дороги, залізниці), інфраструктура тощо.
3. Корисні копалини та інші ресурси, явища, такі як ґрунти, рослинність, клімат тощо.
4. Соціально-економічна інформація, така як розселення, промислові райони, сільськогосподарські угіддя, грошові потоки тощо.

При створенні поверхні ЦМР важливо розуміти з яких елементів вона складається. В залежності від вихідних даних та типу геометрії з якої складається цифрова поверхня, методи побудови ЦМР поділяють на такі:

1. Точковий метод (Points)

2. Метод трикутників (TIN)
3. Метод сітки (GRID)
4. Гібридний, комбінація будь яких двох вище.

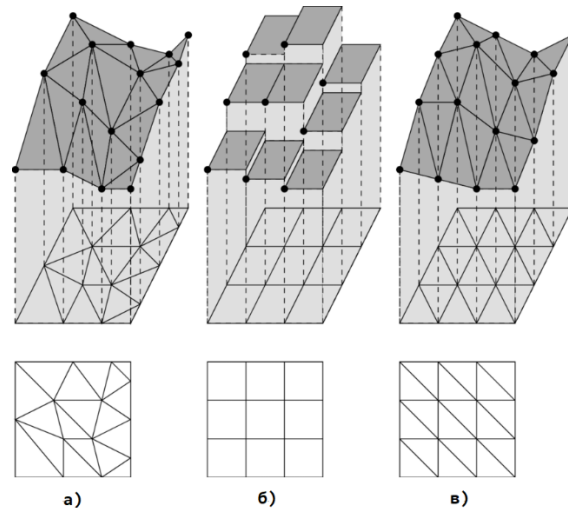


Рис. 1.2. Методи побудови ЦМР

а – трикутна модель, б – квадратна сітка, в – комбінація трикутної та квадратної сітки

Точковий метод найпростіший. В кожній точці може бути утворена поверхня, у вигляді площини. Таким чином одній точці може відповідати зона з заданим радіусом та форми (таку зону називають *зоною впливу*).

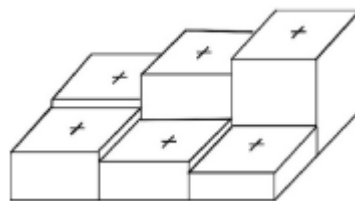


Рис. 1.3. Точкова модель

Чим більше точок можна використати, тим більш складнішу поверхню можна утворити. Так як з двох точок це неможливо, необхідно мінімум три точки, з яких формується плоска трикутна поверхня. Вершини цього трикутника визначається трьома координатами (x , y , z). З цих трикутників можна утворити суцільну поверхню ЦМР (Рис. 1.4). Трикутна модель (або TIN model) дуже гнучка, завдяки цій особливості можна утворювати більш складні форми

рельєфу які не можна зобразити точковим методом. Її недоліком, є те що утворена поверхня буде виглядати «ламанною». Це у якійсь мірі можна компенсувати кількістю точок.

Задача створення триангуляції для множини точок – з'єднання заданих точок лініями які не перетинаються. Трикутні нерегулярні мережі створюються такими алгоритмами:

- Триангуляція Делоне (Delaunay Triangulation)
- Радіальна розгортка (Radial sweep)

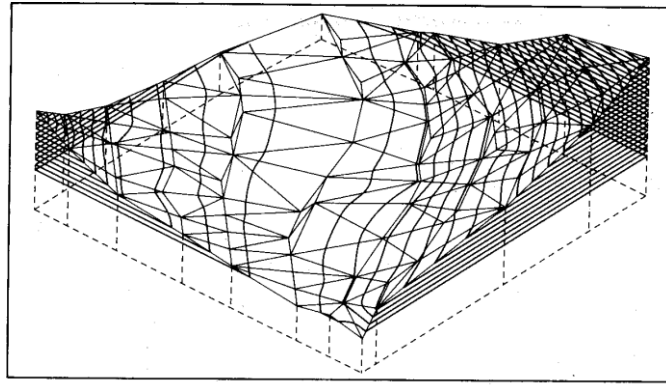


Рис. 1.4. TIN-модель

Два методи розглянуті вище – утворюють лише елементи з яких формується поверхня, тому щоб сформувати повноцінну поверхню необхідно мінімум 4 точки. Така поверхня називається *білінійною поверхнею*. В теорії, сітку можна формувати через будь які форми чотирикутників (паралелограми, прямокутники, тощо), але звичайна квадратна сітка (GRID) найбільш практична. В результаті маємо поверхню що складається з багатьох білінійних. (Рис. 1.5)

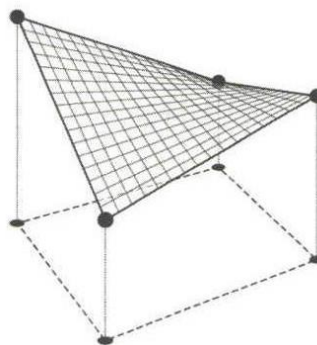


Рис. 1.5. Білінійна поверхня

Для створення ЦМР використовують два методи TIN та GRID. Методи триангуляції автоматизовані та інтегровані в функціонал програмного забезпечення такого як Agisoft Metashape, тому TIN мережа ідеально підходить для створення 3D моделі місцевості (mesh). GRID мережа підходить для побудови растрового зображення ЦМР, так як вони з растром схожі по своїй структурі - їх можна «сумістити» без втрати даних.

Використання ЦМР в проекті рекультивації дозволить спростити процес обчислення об'єму земляних робіт, та площі новоутвореної поверхні. Також завдяки програмним забезпеченням, такими як QGIS, можна швидко створювати профілі місцевості у будь якому розрізі.

1.4 Створення ЦМР кар'єру фотограмметричними методами за допомогою БПЛА

Предметом фотограмметрії є вивчення властивостей фотозображення, методів його отримання і вимірювання.

Роблячи висновок з попереднього підрозділу, можна сказати що *ЦМР конструюється з точок з певною густиною, точністю та розподілом, які мають просторові координати*. Точки отримують з фотограмметричних вимірювань, з наземного знімання, лазерним скануванням, за матеріалами дистанційного зондування землі. В роботі буде розглядатися та використовуватися спосіб фотограмметрії та аерофотозйомки за допомогою БПЛА (Безпілотний літальний апарат).

Ефективність та переваги використання технології БПЛА в інженерно-геодезичних вишукуваннях полягає, перш за все, в економії часу та польових бригад, а звідси низька вартість робіт. Для проведення зйомки дроном, як правило, достатньо двох робітників. БПЛА можна використовувати в такій місцевості, де проведення геодезичних вишукувань ускладнено або небезпечно – це його друга перевага. І третя перевага цієї технології в її точності. Використання сучасних, професійних приладів може дати точність положення

по горизонталі (x,y) приблизно 1 см, а по вертикалі (z) 2-3 см. Це дає змогу створювати точні ЦМР та проводити їх аналіз [9].

Процес аерофотозйомки можна поділити на три етапи: Перший етап підготовка до знімання. Він включає проектування маршруту знімання, створення геодезичної основи у вигляді координат пунктів-опознаків з прив'язкою до геодезичної мережі (якщо це необхідно), а також отримання дозволу на використання повітряного простору та реєстрацію БПЛА.

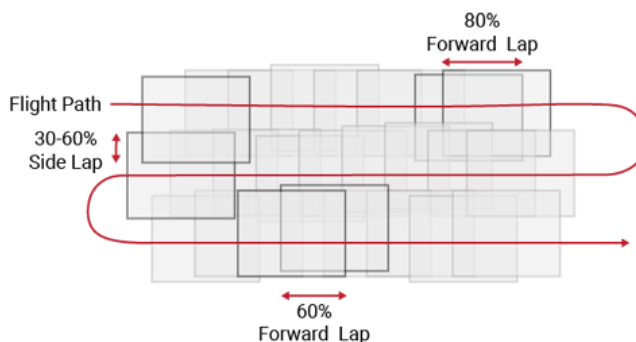


Рис. 1.6. Схема маршруту зальоту

Маршрут повинен покривати всю площу досліджуваного об'єкту з невеликим запасом. Горизонтальне перекриття повинно складати 60-80%, вертикальне 30-60% (рис. 1.6). Маршрут записується безпосередньо у пам'ять дрона, у форматі координат чекпойнтів, або виконується через програмне забезпечення безпосередньо в польових умовах.

При зйомці кар'єрів потрібно враховувати особливості його поверхні. Різкі перепади висот можуть утворити проблему з перекриттям, коли одну й ту ж саму точку неможливо розпізнати на всіх знімках (рис.1.7.)

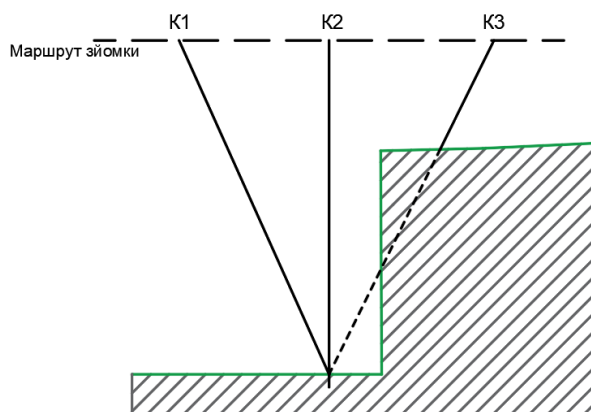


Рис. 1.7. Вплив перепаду висот на знімання

Через ці перепади також буде змінюватися роздільна здатність знімку. Рішенням буде: збільшення перекриття, та використання перспективної зйомки, а також виконати декілька зальотів на різних висотах.

Також, як було сказано вище, на ділянці можуть бути пункти геодезичної основи з відомими координатами. Вони визначаються методами ГНСС (у режимі RTK від базових станцій) та тахеометрії. Ці пункти, або *опознаки*, будуть слугувати для прив'язки знімків до геодезичної мережі. Опознаки на знімках можуть бути розпізнані по маркам, розташованими по периметру знімання, в ручному або автоматичному режимі.

Знімки також «координуються» за допомогою GPS вбудованого у БПЛА. Це так звана «локальна система координат», її достатньо для деяких робіт які не вимагають високої точності положення об'єкту (напр. визначення об'ємів земляних робіт).

Другий етап – проведення зйомки. Бригада в складі двох робітників прибуває на об'єкт, розміщує опознаки, приводить БПЛА в робочий режим, отримує дозвіл на використання повітряного простору та виконує зйомку. Бажано проводити зйомку в осінній/весінній період, коли мало листви та при задовільних погодних умовах (що відповідають можливостям БПЛА) в денний період.

Третій етап – камеральні роботи. Вони включають перевірку якості знімків, визначення характерних точок, зрівнювання знімків, побудову ЦМР та ортофотоплану.

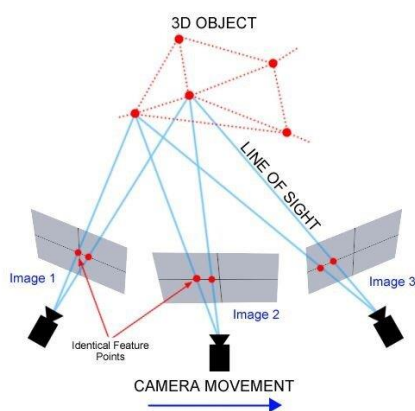


Рис. 1.8. Схема триангуляції точок на знімках

Для зрівнювання знімків у фотограмметрії використовується метод триангуляції. Для цього необхідно мінімум два знімки об'єкта з різних ракурсів. Ці знімки утворюють лінії від камери до об'єкту. У цьому випадку «камеру» ми розглядаємо як абстрактну точку, з якої було зроблено знімок. Перетин цих ліній використовується у математичних розрахунках які в результаті дають геометричні координати визначуваних точок. Ці точки на растрових зображеннях знаходяться шляхом пошуку відповідних ознак таких як текстура або колір пікселя (рис. 1.9.). Цей процес є автоматичним та виконується в спеціальному програмному забезпеченні. (напр. Agisoft Metashape). Результатом обробки знімків є *розріджена хмара точок*.

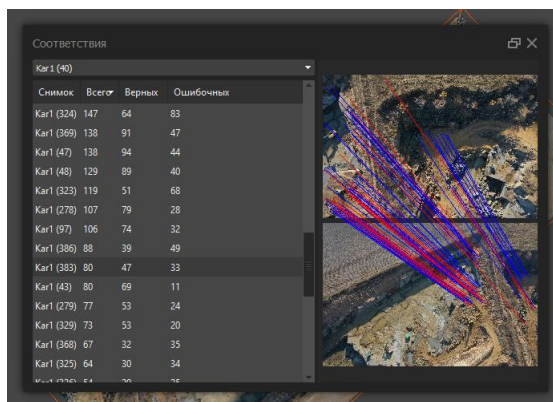


Рис. 1.9. Відповідні точки між двома знімками у Agisoft Metashape

Для дослідження рельєфу кар'єру та розрахунку об'єму необхідна полігональна 3D модель (mesh). Для її створення в свою чергу необхідна або щільна хмара точок або карта глибини. У фотограмметрії карти глибин створюються шляхом визначення відстаней до однакових точок стереоскопічним ефектом при порівнянні двох або більше зображень. Цей спосіб, на відмінну від щільної хмари, є більш привабливим для використання завдяки швидкій побудові та точності.

Після створення mesh-моделі проводиться її фільтрація, тобто видалення всіх об'єктів які не стосуються поверхні рельєфу (машини, важка техніка, будинки тощо). Утворені отвори заповнюються новими полігонами які будуються інтерполяцією або методом Делоне.

Утворена 3D модель рельєфу буде основою для розрахунків та перетворення її у растрову ЦМР. Перевага використання растрових ЦМР є в їх неприхитливості до ресурсів комп'ютера, а також простоті роботи з ними.

РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ЦМР

2.1 Постановка задачі

Проект рекультивації розроблений на прикладі гранітного кар'єру блочного типу у Житомирській області поблизу міста Кам'яний брід.(додаток В) Площа досліджуваної ділянки 4,5 га. Рельєф дна “ступінчатий” – чотири плоскі поверхні з перепадом 5-7 метрів, максимальна глибина від базової поверхні землі (190 м) складає 24 м.

Для даного кар'єру можна виділити два основних методи рекультивації: відновлення рельєфу або затоплення. В першому випадку необхідно знати загальний об'єм ґрунту/породи необхідного для заповнення виїмки. В другому випадку також необхідно знати об'єм виїмки щоб розрахувати час за який кар'єр буде затоплений чи притокою з річки чи атмосферними опадами.

Тому для цих розрахунків пропонується використання таких програм для аналізу: QGIS, ArcMap, CloudCompare.

Отже, завданням буде побудувати mesh-модель та ЦМР на основі вихідних знімків зроблених за допомогою БПЛА. Додатково, проведемо порівняння методів які пропонуються у вище згаданих програмах, виділимо їх переваги та пояснимо різницю.

2.2 Оцінка якості вихідних даних

За вихідні дані маємо 390 знімків блочного кар'єру в Житомирській області. Параметри знімків та камери представлено на скріншотах:

Изображение		Камера	
Код изображения		Камера, изготовитель	Hasselblad
Разрешение	5472 x 3648	Камера, модель	L1D-20c
Ширина	5472 пикселей	Диафрагма	f/5.6
Высота	3648 пикселей	Выдержка	1/500 с.
Горизонтальное разреше...	72 точек на дюйм	Скорость ISO	ISO-100
Разрешение по вертикали	72 точек на дюйм	Экспокоррекция	-1 шаг.
Глубина цвета	24	Фокусное расстояние	10 мм
Сжатие		Светосила	2.971
Единица разрешения	2	Экспомер	Средневзвешенный
Представление цвета	sRGB	Расстояние до объекта	
Сжатие, бит на пиксель		Вспышка, режим	Без вспышки
		Вспышка, энергия	
		Фокусное расстояние, экв. 35 мм	28

Рис. 2.1. Характеристика знімку та камери

Для даного виду робіт (обчислення об'ємів) прив'язка до геодезичних мереж не потрібна, достатньо локальних координат. Тому знімки мають прив'язку тільки по GPS:

GPS	
Широта	50; 29; 14.682399999...
Долгота	28; 55; 54.780700000...
Высота	277

Рис. 2.2. Координати знімку

Знімки не мають спотворень, розмитості, сонячних бліків. Покривають усю територію досліджуваного кар'єру. В цьому випадку було проведено два типи знімання. В першому знімки зроблені у надирі, в другому під кутом 30 градусів. Це зроблено для того щоб отримати додаткові дані по стінах та ухилах, щоб не мати «дірок» на хмарі точок. Це також будуть допоміжні дані для зрівнювання.

Отже, можна зробити висновок що за вихідними даними ЦМР буде якісною, точною, та відображати реальну ситуацію.

2.3 Створення ЦМР в програмному забезпеченні Agisoft Metashape

Побудова ЦМР проводилася у програмі Agisoft Metashape Professional 1.6.0 build 9925, вона має великий набір інструментів для опрацювання фотограмметричних даних та дозволяє створювати хмари точок, полігональні і тайлові моделі, ортофотоплани та ЦММ.

2.3.1 Зрівнювання фотознімків

На цьому етапі виконується:

- Пошук характерних точок та відповідностей
- Визначення взаємного розташування знімків та характеристик оптичної системи
- Формування розрідженої хмари точок

Як було зазначено вище, знімки вже мають координати центрів проєкцій. Вони визначенні з достатньо високою (сантиметровою) точністю. Щоб почати зрівнювання спочатку необхідно виконати прив'язку до опознаків.

2.3.2 Прив'язка знімків маркерами

Хоча зрівнювання знімків можна зробити без опознаків, але тоді модель буде мати спотворення які не бажано мати при розрахунках. Тому на території знімання розставлено 8 марок, (додаток А.2).

Також може таке статися, що через недостатнє перекриття знімків деякі не зможуть вирівнятися автоматично. Для ручного зрівняння також можна використати маркери.

Відкриваємо знімок на якому видно опознак (додаток А.1), натискаємо **ПКМ > Додати марку**. Іменуємо його за відповідним номером (point 1-8), та розміщуємо його де необхідно, для такого знаку - на перехресті стрілок. При ручному зрівнюванні без опознаків, потрібно обирати точку яку можна розпізнати на обох знімках та є непорушною, напр. каналізаційний люк або дорожня розмітка.

Значення похибок положення маркерів повинні бути не більше 0,5 пікселя. На цьому етапі маємо такі похибки:

Таблиця 2.1

Похибки маркерів

Маркер	Значення рх.
Point 1	1.610
Point 2	2.481
Point 3	2.035
Point 4	1.788
Point 5	1.981
Point 6	1.452
Point 7	1.340
Point 8	1.401

Після цього необхідно виконати **калібрування камери**, в меню **Інструменти**. А після цього **Оптимізувати камери**.

В результаті отримаємо такі похибки:

Похибки маркерів після калібрування

Маркер	Значення рх.
Point 1	0.415
Point 2	0.463
Point 3	0.295
Point 4	0.422
Point 5	0.429
Point 6	0.467
Point 7	0.409
Point 8	0.356

Для цих даних похибка є сповна задовільною.

Після виконання зрівнювання знімків будується розріджена хмара точок.

(рис. 2.3.)

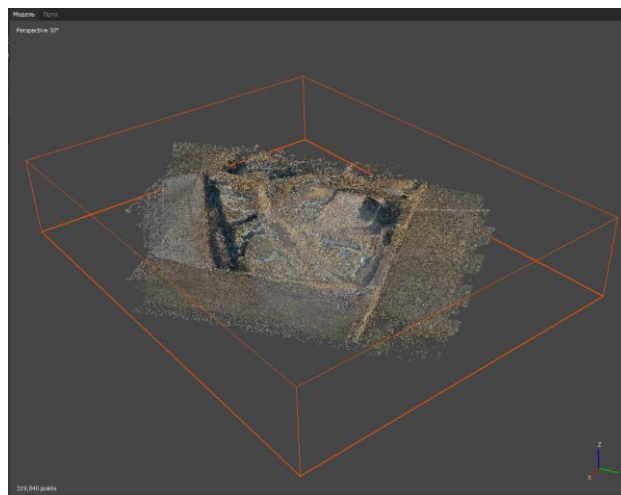


Рис. 2.3. Розріджена хмара точок.

Також зі звіту Agisoft Metashape виведені додаткові дані: позиції зйомки, оцінка похибок положення камер та перекриття (Додаток Б.4)

2.3.3 Побудова mesh-моделі

Наступний етап побудова моделі (mesh). Для неї **необов'язково будувати щільну хмару точок**, можна використати карти глибин (depth maps). Це значно

зеконотить час на створення ЦМР, а її точність буде задовольняти виду наших робіт.

Для прискорення опрацювання, виділяємо тільки зону що досліджується (саму виїмку кар'єру). Готова mesh модель на рис. 2.4

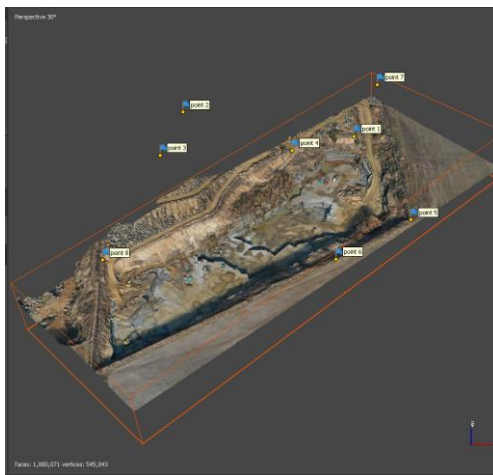


Рис. 2.4. Полігональна модель (mesh)

2.3.4 Фільтрація моделі

Цей крок визначить різницю між ЦММ та ЦМР. На дні кар'єру розміщено багато техніки та інших об'єктів, які не мають відношення до рельєфу. Також на моделі присутні крони дерев, які потрапляють у зону дослідження. Всі ці об'єкти будуть впливати на результат розрахунку, тому їх необхідно відфільтрувати.



Рис. 2.5. Будівельна техніка та крони дерев

Після видалення об'єктів, на моделі залишились отвори. Закрити їх можна двома способами:

- Залишити отвори, та при створенні ЦМР використати інтерполяцію.
- Інструментом **Заповнити отвори**.

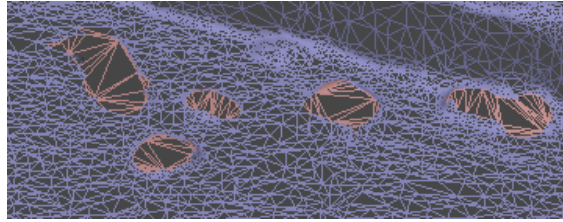


Рис. 2.6. Заповненні отвори на моделі

Цей процес виконується автоматично, тобто методом триангуляції Делоне програма побудувала трикутні полігони там де це необхідно (рис. 2.6.). Таким чином отримаємо готову полігональну модель поверхні **рельєфу**.

Цю модель необхідно експортувати у форматі **.bin**, бо для проведення розрахунків у CloudCompare необхідна саме mesh-модель рельєфу.

2.3.5 Створення Цифрової Моделі Рельєфу

Цифрова Модель Рельєфу створюється у вигляді растру. Вихідними даними для неї можуть бути:

1. Полігональна модель
2. Карта глибини
3. Розріджена хмара точок
4. Щільна хмара точок

В даному випадку ЦМР створюємо на основі полігональної моделі. В результаті ми отримаємо растрове зображення рельєфу, з роздільною здатністю 2044x1954, 21 см/пікс, та глибиною кольору 32-біт (рис. 2.7.).

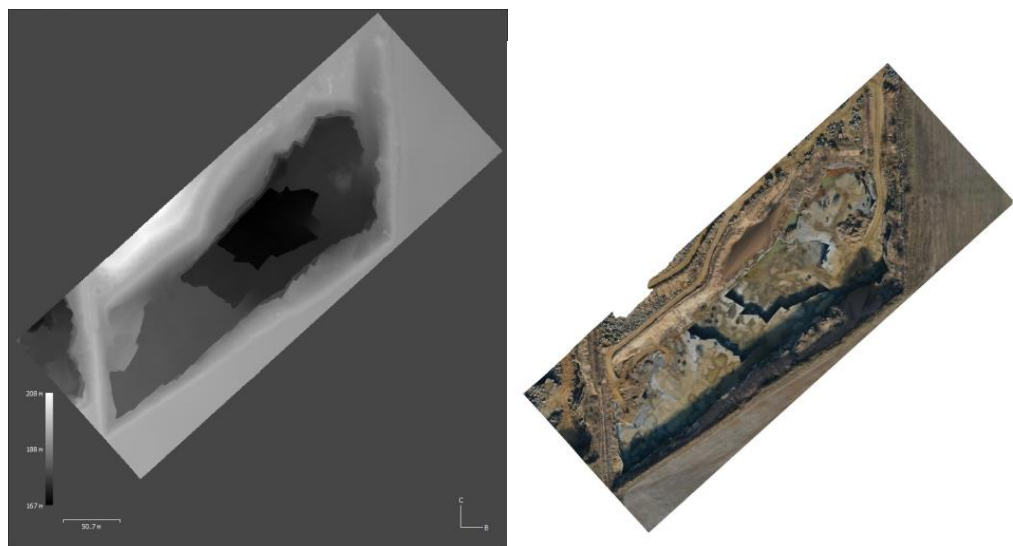


Рис. 2.7. ЦМР та ортофото

Растрове зображення ЦМР екпортуємо у форматі **.tif** . Цей формат підтримується широким спектром програм, які дозволяють провести подальші розрахунки або використати ці геопросторові дані в інших наукових сферах для аналізу. До програм в яких можна зробити геопросторовий аналіз растрів відносяться: ArcMap, QGIS.

2.4 Розрахунок об'єму кар'єру у програмних забезпеченнях CloudCompare, QGIS, ArcGIS

2.4.1 QGIS спосіб 1

Quantum GIS – це безкоштовна ГІС з відкритим кодом для створення, редагування, візуалізації, аналізу та публікації геопросторової інформації [10]. Інтегрована консоль Python дозволяє проявити креативність у автоматизації деяких процесів, а онлайн-доступ до бібліотеки плагінів робить їх легкодоступними для завантаження та використання. Основними перевагами QGIS вважаються простота у використанні (user friendly) та безкоштовність, саме тому вона набула популярність серед студентів вищих навчальних закладів та професійних спеціалістів.

Для проведення розрахунків була використана версія QGIS 3.22.6. Розглянуті два способи визначення об'єму. Перший спосіб найшвидший, у ньому використовується інструмент **Об'єм растрової поверхні**. Це алгоритм який виводить об'єм, площу та загальну кількість проаналізованих пікселів растру. Все що потрібно зробити це вказати вихідний растр, канал, базову поверхню та проекцію. Алгоритм виводить результат у html файл. Перед виконанням потрібно кадрувати растр, щоб частина сусіднього кар'єру не враховувався. Для цього зробимо шар-маску та використаємо інструмент **Кадрувати по масці**. Необхідно вибрати такі параметри (рис.), щоб зберегти розмір та положення пікселів.

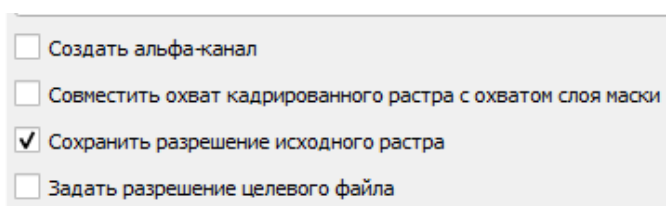


Рис. 2.8. Параметри кадрування

Так як вихідний растр прив'язаний по градусним координатам широти та довготи, при збереженні отриманого растру **обов'язково** потрібно вибрати місцеву СК: EPSH:32635 – WGS-84 / UTM zone 35N, інакше алгоритм порахує об'єм в неправильних одиницях. Далі запускаємо алгоритм з вибраними параметрами (рис. 2.9.) та отримуємо результат: 368937.993 м³ (додаток Б.1.1)

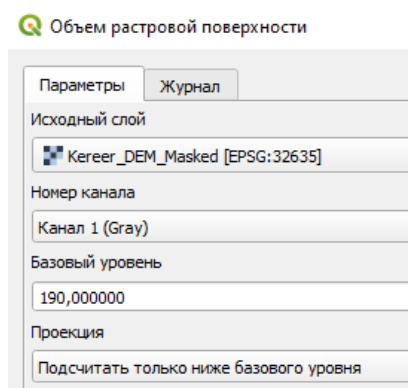


Рис. 2.9. Параметри розрахунку об'єму растрової поверхні

2.4.2 QGIS спосіб 2

Суть другого способу полягає в порівнянні двох ЦМР растрів (кар'єру та базової поверхні), та виведені об'єму через їх різницю. Перед тим як приступити до виконання, роздивимось яким чином піксель несе у собі інформацію про об'єм. Зобразимо піксель у вигляді прямокутного паралелепіпеда. (рис. 2.10)

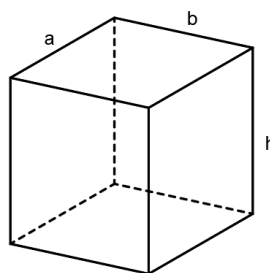


Рис. 2.10. Піксель у вигляді призми

де $a \times b$ – це його роздільна здатність, у нашому випадку один піксель дорівнює 21x21см на місцевості.

h – це відмітка висоти.

Отже, одиниця об'єму що міститься у пікселі вираховується за формулою:

$$V_{px} = a * b * h \quad (2.1)$$

Для розрахунку земляної маси **нижче базисної площини** необхідно ввести додаткову дію, а саме різницю відмітки пікселя $h_{бп}$ від того від якого він проєцюється h (рис. 2.11)

$$V_{рх} = (h_{бп} - h) * a * b \quad (2.2)$$

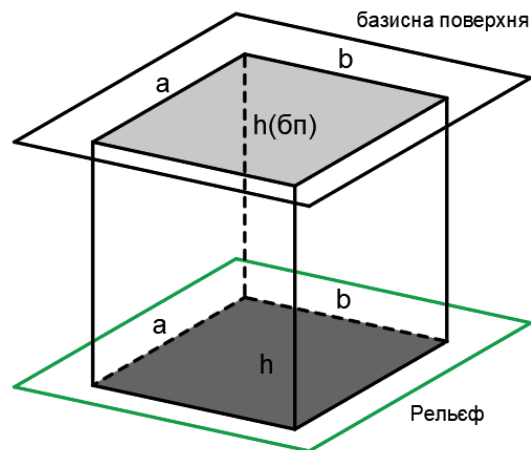


Рис. 2.11 Умовна фігура пікселя між базисною поверхнею та рельєфом

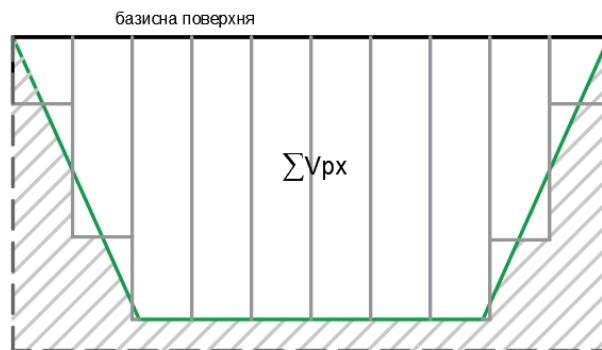


Рис. 2.12. Профіль виїмки

Отже, об'єм земляних робіт $V_{зем}$ буде сумою усіх об'ємів пікселів:

$$\sum V_{рх} = V_{зем} \quad (2.3)$$

Алгоритм виконання:

За допомогою калькулятора растрів створюємо допоміжний растр на якому буде зображена базова площина у 2D вигляді через вираз:

$$\text{"Kereer_DEM_Masked@1"} \leq 190 \quad (2.4)$$

Отриманий растр (рис. 2.13. а), має тільки два значення:

1 – значить що цей піксель проходить умову виразу (2.4)

0 – не проходить

Перетворюємо цей **растр у вектор** (рис. 2.13. б), це потрібно щоб визначити зону де буде проводитися **Зональна статистика**.

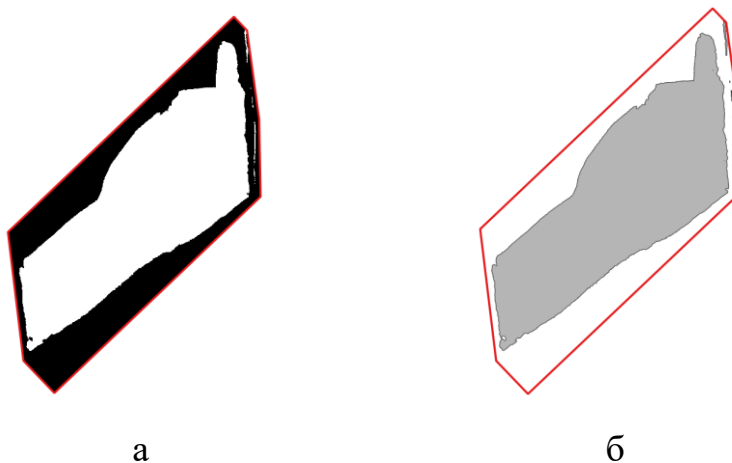


Рис. 2.13. а – допоміжний растр базисної поверхні; б – векторний шар базисної поверхні.

В калькуляторі растрів вводимо вираз:

$$(\text{"Kereer_DEM_Masked@1"} \leq 190) * (190 - \text{"Kereer_DEM_Masked@1"}) * 0.21 * 0.21 \quad (2.5)$$

У ньому ("Kereer_DEM_Masked@1" <= 190) - це умова, таким чином порахуються тільки значення які нижче базисної поверхні (190м).



Рис. 2.14. Растр об'ємів

Цей растр відображає інформацію про об'єми які були порашовані за формулою (2.5). Чим піксель світліше – тим більший його об'єм.

Інструмент **Зональна статистика** розраховує статистичні дані растру у межах вибраного шару. В даному випадку нас цікавить сума (sum) усіх об'ємів пікселів.

В результаті отримаємо об'єм: 371290,644 м³ (додаток Б.1.2)

Різниця між двома способами складає: 2352,65 м³. У процентному співвідношенні другий спосіб дає на 0,64% більше значення.

2.4.3 CloudCompare

Версія програми CloudCompare v2.11.3 (Аноія). Цей програмний продукт має широкий функціонал для роботи з 3Д моделями та хмарами точок. Він включає такі алгоритми як реєстрація хмар точок, розрахунок об'ємів, статистичний аналіз, сегментація і т.д.

Імпортуємо ту ж саму модель та перетворюємо її у хмару точок (Sample points on a mesh). Інструмент **2.5D Volume calculation** (рис. 2.15.) розраховує об'єми порівнюючи дві поверхні.

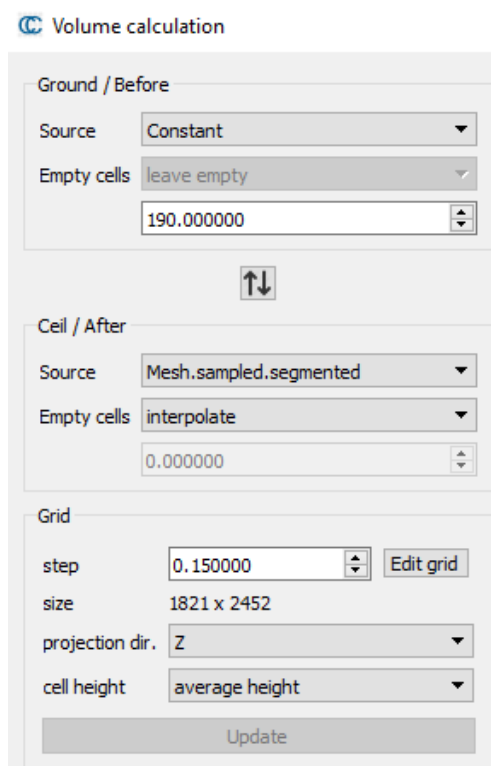


Рис. 2.15. Вікно інструменту 2.5D Volume calculation, CloudCompare

Ground/Before – це поточна поверхня (mesh).

Ceil/After – це потолок або базова поверхня.

Grid – це параметри сітки, чим більший крок тим більша кількість комірок які розраховуються. Виставивши значення отримаємо результати (додаток Б.2). З переліку розрахованих значень нас цікавить **Added volume** або іншими словами - це об'єм який потрібно «досипати» щоб досягти базової поверхні, він дорівнює 369280,919 м³ (додаток Б.2).

2.4.4 ArcMap

Для розрахунків використовувалась версія ArcMap 10.4.1. ArcGIS – це потужна ГІС з усіма можливими інструментами для геоаналізу.

Для розрахунку об'єму, як у QGIS, використаємо вбудований алгоритм **Surface Volume (3D Analyst)**. Він так само простий у використанні: вибираємо растр, проекцію («Нижче» або «Вище») та вводимо висоту базової поверхні. (рис. 2.16.)

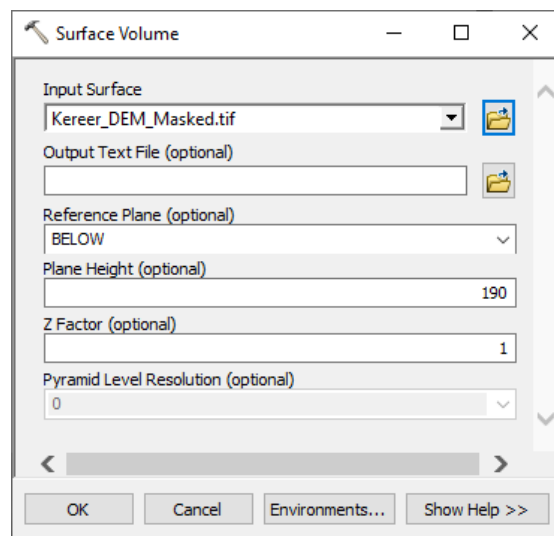


Рис. 2.16. Вікно інструменту Surface Volume (3D Analyst), ArcMap

У вікні результату (додаток Б.3) відображені аналогічні результати об'єму та площі як у попередніх програмах. Результат: 368915,322 м³

2.5 Побудова фінальної поверхні рельєфу

Для візуальної репрезентації результуючої поверхні створимо нову ЦМР на основі вже існуючої. Для цього використаємо QGIS та інструмент інтерполяції растрів.

Для початку необхідно видалити усі точки які знаходяться нижче базисної площини. Це можна легко зробити при збереженні растру як нового, та в додаткових параметрах обрати діапазон «нуль даних» (рис. 2.17.).

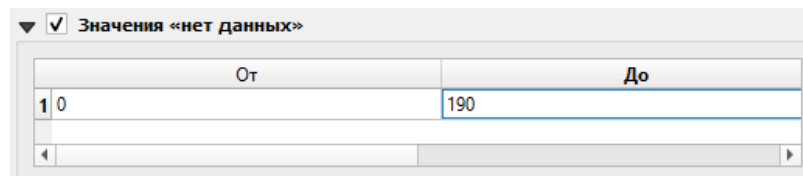


Рис. 2.17. Вікно збереження растру

Далі інтерполюємо растр інструментом **Заповнити нуль дані**. В параметрах налаштуємо максимальну відстань для пошуку інтерпольованих значень в 1000 пікселів. В результаті отримаємо зображення кар'єру «без виїмки» (рис. 2.18. а). Також за допомогою плагіну **qgis2threejs** можна візуалізувати ЦМР у 3D вигляді (рис. 2.18. б)

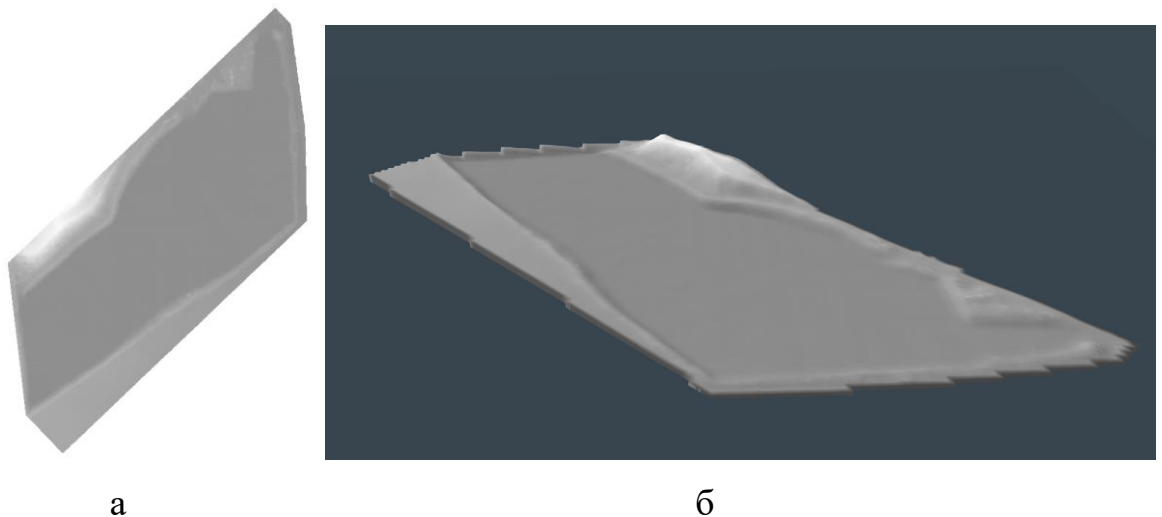


Рис. 2.18. а – ЦМР базисної поверхні; б – 3D модель у плагіні qgis2threejs

Аналогічно до другого способу QGIS можна також визначити об'єм шляхом порівняння растрів. Він дорівнює 373619,720 м³ .(Додаток Б.1.3)

2.6 Аналіз методів та їх результатів

Табл.2.3

Результати визначення об'єму

Метод визначення об'єму	Результат, м ³
QGIS спосіб 1	368937.993

QGIS спосіб 2	371290,644
QGIS інтерполяція	373619,720
ArcMap	368915,322
CloudCompare	369280,919

Як видно, результати всіх п'ятьох способів дуже близько одне до одного, але все одно не однакові. З чим це пов'язано?

2.6.1 QGIS спосіб 1

Перший спосіб визначення об'єму за допомогою інструменту **Об'єм растрової поверхні** у QGIS за деякими даними[11] в корні однаковий із другим способом (див. п. 2.4.2). Тобто іде розрахунок об'ємів пікселів але в автоматичному режимі. Проте їх результати суттєво відрізняються. Можливо, алгоритм аналізує та відсіює точки які є ненадійними або мають надлишковий об'єм, про це детальніше далі.

2.6.2 QGIS спосіб 2

У другому способі QGIS, як вже було зазначено (див. п. 2.4.2), розраховується об'єм умовної геометричної фігури пікселю. У порівнянні з першим способом QGIS була встановлена різниця в 0,64%. Цю різницю спробуємо пояснити через спрощені схеми.

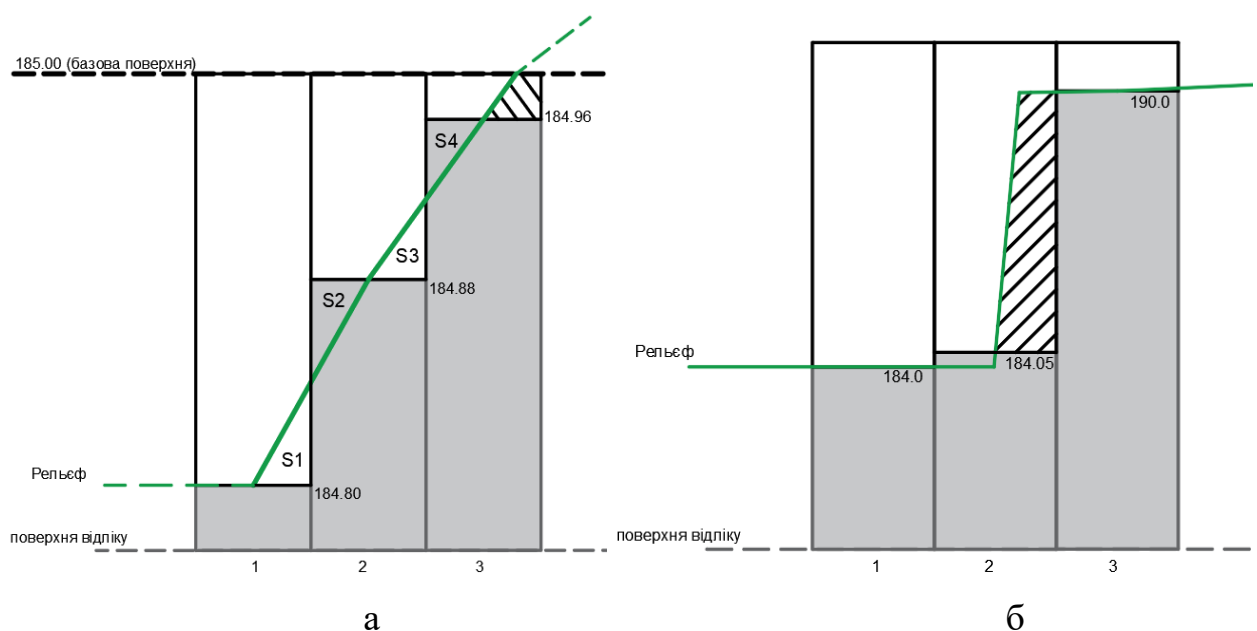


Рис. 2.19. Схеми похибок моделювання

На схемах поверхня ухилу представлена у профіль трьома рядами пікселів. 1, 2, 3 - це ряди пікселів які «наповняють» простір між базовою та поверхнею відліку, зафарбовані - це пікселі вихідного растру з відміткою висоти, через їх центри проходить умовна поверхня місцевості. Товста лінія – це спрощена поверхня землі. Як видно на схемі (рис. 2.19 а) вона «перерізає» пікселі, утворюючи як пусті так і надлишкові частини, але вони один одного компенсують, тобто $S1=S2$, $S3=S4$. Але у окремих випадках такі симетричні частини утворитися не можуть. Один із таких випадків продемонстровано на цій же схемі А: Третій піксель припадає на край зони розрахунку, де поверхня землі перетинається із базовою. Тому утворюється надлишковий об'єм (заштрихований) який додається до результату.

Другий випадок виникає на крутих схилах (рис. 2.19 б). Через обмеження у роздільній здатності та растрування зображення, піксель може «врізатися» у поверхню стіни, тим самим утворюючи надлишкові об'єми. На досліджуваному кар'єрі присутні круті схили, тому ця похибка є правдивою.

Ці похибки досить важко відстежити або виправити. І взагалі цей метод вимагає виконувати більше дій тому не є практичним у порівнянні з іншими інструментами QGIS. Але він є надійним і з боку розрахунків простий, тому його можна використати для перевірки результатів інших методів.

2.6.3 ArcMap

Про алгоритм розрахунку об'єму в ArcMap можна більш детально дізнатися із документації ArcGIS [12]:

«Якщо за вихідні дані маємо растр, центри кожної комірки (пікселя) з'єднуються у трикутники. Таким чином утворюється TIN мережа. Потім кожен трикутник досліджується щоб визначити його вплив на загальний об'єм. Сума цих частин буде результатом розрахунку.»

Звісно, до розрахунку приймаються тільки ті вершини трикутників, які задовольняють умову: нижче або вище базової поверхні. Тобто, трикутники проєціюються на базову поверхню, утворюючи геометричну фігуру –

призму(рис. 2.20.). Тому можна припустити що в цьому інструменті розраховуються площі утворених призм та їх сумарний об'єм.

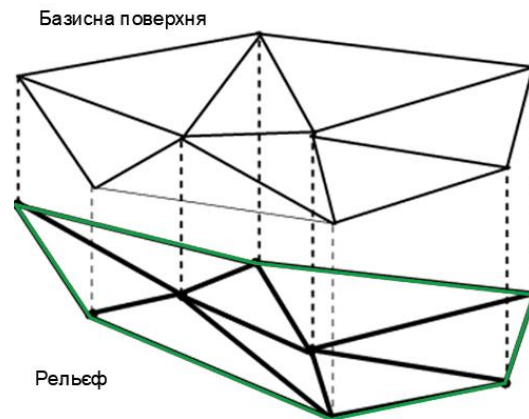


Рис. 2.20 Утворення призм від поверхні рельєфу до базисної площини

Варто зазначити що результат у ArcMap дуже схожий з алгоритмом QGIS. (див. табл. 2.3) Зважаючи на недостатню інформацію про метод вимірювання (див. п. 2.6.1), можна припустити що в QGIS виконуються аналогічні дії.

2.6.4 CloudCompare

У програмі CloudCompare для розрахунку використовується GRID мережа. Хоча тут метод аналогічний з попереднім що у QGIS, але виконується безпосередньо на хмарі точок. Це і є його перевагою над розглянутими алгоритмами GIS програм (хоча в них також можна імпортувати хмару точок). Функціонал програми дозволяє змінювати роздільну здатність сітки, та виконати інтерполяцію пустих комірок. Проте результат може варіюватися в залежності обраного кроку сітки. За дослідженням [13, табл.2] можна вважати допустимим будь яке значення в діапазоні 0,010 – 2,000. При цьому похибка не перевищує 3%.

2.7 Висновок до розділу

Модель в Agisoft Metashape була побудована якісно, хоча у місцях де були великі крони дерев, поверхня побудувалася великими трикутниками та була занадто спрощена.

Об'єм кар'єру було пораховано у трьох програмах і всі вони впоралися із завданням. Алгоритми GIS програм дозволяють розрахувати об'єм маючи тільки растр ЦМР, також вони швидкі та прості у використанні. Зважаючи на

результати я вважаю що, найпримітивнішим та найменш точним є 2 спосіб у QGIS, але за його допомогою можна порівнювати два растри одночасно, чого алгоритми GIS не дозволяють зробити. Завдяки роботі із хмарою точок CloudCompare - найточніший та найбільш гнучкий інструмент для визначення об'єму. Він також дозволяє порівнювати дві моделі та знаходження різницю між ними.

**РОЗДІЛ 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ
КАР'ЄРУ**

3.1 Вибір методу рекультивації

Зі супутникового знімку Google Earth (додаток В.2) зрозуміло що гірничодобувні роботи виконуються на посівних землях. Також поблизу можна помітити вже відпрацьовані кар'єри, вони затоплені водою. Ідеальним варіантом рекультивації буде - відновлення рельєфу та повернення земель до сільськогосподарських угідь. Проте, за даними інтерактивної карти ґрунтів (рис. 3.1) [14] в цій місцевості переважають дерново-підзолисті ґрунти. Вони характеризуються своєю низькою родючістю та швидким осушенням. [16] Тому після відновлення рельєфу слід провести ретельні роботи бонітування ґрунту, тим самим підвищивши цінність даної ділянки.



Дерново-підзолисті ґрунти

- Дерново-підзолисті ґрунти на давньоалювіальних та воднольодовикових відкладах, морені та лесовидних породах
- Дерново-прихованопідзолисті піщані та глинисто-піщані ґрунти (борові піски)
- Дерново-слабо-і середньопідзолисті піщані та глинисто-піщані ґрунти
- Дерново-середньо-і слабопідзолисті супіщані і суглинкові ґрунти

Рис. 3.1 Карта ґрунтів

Другим варіантом буде затоплення кар'єру для створення водосховища та підтримки рівня ґрунтових вод для прилеглих с\г угідь. Як вже було зазначено, у Житомирській області такий варіант рекультивації є стандартною практикою. Також зважаючи на близькість до поселення, воно може стати непоганим місцем відпочинку з чистою водою.

3.1.1 Повернення земель до с\г угідь

По-перше проводиться геодезична зйомка та складання топографічних планів масштабу 1:1000, 1:500 , а також профілів місцевості. Проектуються ухили та порядок проведення робіт.

За вихідні дані приймемо об'єм кар'єру який був розрахований у програмі CloudCompare – він дорівнює 369280,919 м³

Вийнятий ґрунт який утворився в процесі видобування можна поділити на родючий шар, материнську породу або вивітрені скельні породи. Він зберігається поблизу кар'єру з ціллю використання його у рекультивації. Але його не вистачить щоб заповнити виїмку з якої були розроблені та вивезені скельні породи. Можна заздалегідь розрахувати об'єм терикону та знайти різницю від проектного значення, щоб дізнатися додатковий об'єм землі. Альтернативно, після першого заповнення кар'єру можна провести повторний розрахунок (методом або фотограмметрії або геодезичним) $V_{\text{повт}}$, щоб визначити додатковий об'єм земляних робіт:

$$V_{\text{дод.}} = V_{\text{проект}} - V_{\text{повт}} \quad (3.1)$$

Це можна зробити у будь-який час, бо процес рекультивації супроводжується геодезичними спостереженнями.

Відновлений рельєф повинен гармонічно вписуватися у ландшафт та бути придатним для ведення господарства. Рекультивацію глибоких кар'єрів (глибиною більше 10 м) виконують без викладання укосів, а їх крутизна повинна бути не менше $m = 1,5$. Через кожні 5 м по висоті вистроюють берми шириною до 3 м, с невеликим уклоном в сторону укосу, для захисту її від ерозії та забезпечення доступу техніки в процесі рекультивації [17]. На досліджуваному об'єкті берми робити не обов'язково, його рельєф сприяє безперешкодному переміщенню вантажівок та іншої техніки, а спуски вже прокладені на всі рівні дна.

Шар слабо-родючого ґрунту повинен складати 1-10 м та наноситься в останню чергу [17]. Для поліпшення властивостей ґрунту можна провести

фіторекультивувацію – відновлення родючості ґрунту за допомогою багаторічних трав'янистих рослин.

Отже, технічне завдання на відновлення земель повинно включати у себе такі основні пункти:

Вихідні дані для підготовчого етапу рекультивації

- План-схему чи копію генплану об'єкта (М 1:2000, 1:500) (Додаток Г)

Основні характеристики об'єкту

- Блочний кар'єр площею 4,5 га, глибиною до 24 м та перепадами висот до 7 метрів.

Дані об'єму земляних робіт

- Об'єм земляних робіт визначений фотограмметричним методом складає 369280,919 м³.

Гірничотехнічні роботи

- Формування ділянки, у вигляді площини з відміткою висоти 190,0 м.
- Використання потенційно родючих порід з проведенням спеціальних агротехнічних заходів при відсутності або недостатці родючих шарів землі.
- Шар нанесеного ґрунту повинен бути товщиною не менше 1 м та бути придатним для біологічної рекультивації.
- При плануванні ділянок забезпечити подальше промислове використання сучасної техніки в с/г та виключення розвинення ерозійних процесів та зсувів.

Біологічні роботи

- Проведення інтенсивних меліоративних заходів для відновлення та збагачення шару землі органічними речовинами.
- Фіторекультивувація ґрунту шляхом створення на поверхні відвалів гірських порід родючого шару ґрунтової маси оптимальної товщини.

3.1.2 Затоплення кар'єру

Як і в попередньому випадку, складаються усі необхідні плани, схеми та документація. На підготовчому етапі та впродовж всього процесу затоплення, виконується постійний геологічний моніторинг. В особливості слідкують за зміною рівня ґрунтових вод та їх вплив на середовище.

Відпрацьовані кар'єри доцільно затопити як можна скоріше, так як це дозволить пришвидшити освоєння нового ландшафту, а також забезпечити високу якість води. До закінчення затоплення необхідно сформувати берегові структури. Ухил бортів змінюється від 25-30°, та до 70-80° на скельних породах. Але в такому озері купатися буде небезпечно. Для цього необхідно облаштувати мілководдя с глибиною не більше 1.6м, та піщаним дном.[18]

Перший сценарій затоплення передбачає створення каналів для підведення води з місцевих водойм та відведення води із утвореної водойми.

В кілометрі на північ від кар'єру проходить р.Руда, але у даній місцевості створення каналу неможливе через перепади висот. Так само немає можливості провести канал від р. Бистриївка на заході, цьому також перешкоджає населений пункт та дороги.

Другий сценарій – затоплення атмосферними опадами. За максимальну відмітку води приймемо 190 м. Так як аналогічний затоплений кар'єр «2» (додаток В.2) має таку саму відмітку. У Житомирській області кількість опадів за 2021 рік становить 528мм [15].

Кількість опадів на рік з водозбору розраховується за формулою:

$$N = (K * S) / 1000 \quad (3.2)$$

де K - кількість річних опадів (мм)

S - площа водозбору кар'єру (м²)

За площу водозбору приймемо площу утвореної базисної поверхні, яка була порахована у першому способі QGIS, вона дорівнює 34729,6 м² (додаток Б.1.1)

Розрахунки:

$$(528 * 34729,6)/1000 = 18337,2 \text{ м}^3/\text{рік} \quad (3.3)$$

$$369280,919 / 18337,2 = 20,1 \text{ років} \quad (3.4)$$

Досліджуваний кар'єр до відмітки 190 м буде наповнюватися приблизно 20 років. Взнявши до розрахунку можливі відхилення в кількості опадів на рік (яке може досягати $\pm 25\%$ [18]), кар'єр може наповнюватися від 15 до 25 років.

Отже, технічне завдання на затоплення кар'єру повинно включати у себе такі основні пункти:

Вихідні дані для підготовчого етапу рекультивациі

- План-схему чи копію генплану об'єкта (М 1:2000, 1:500) (Додаток Г)

Основні характеристики об'єкту

- Блочний кар'єр площею 4,5 га, глибиною до 24 м та перепадами висот до 7 м.

Дані об'єму виїмки

- Об'єм виїмки визначений фотограмметричним методом складає 369280,919 м³.

Гірничотехнічні роботи

- Спорудження відповідних гідротехнічних споруд (Канали відводу)
- Запобігання утворенню зсувів та розмивання.
- Провести заходи щодо благоустрою території та озеленення прибережної зони.
- Облаштувати мілководдя с глибиною не більше 1.6м, та піщаним дном.

Гідрогеологічні роботи

- Запобігання потрапляння у воду кислих або лужних підземних вод та підтримання сприятливого режиму і складу води відповідно з санітарно-гігієнічними нормами.
- Щорічний моніторинг за рівнем місцевих ґрунтових вод та їх регулювання впродовж всього процесу заповнення (20 років).

3.2 Охорона праці

Організація роботи проводиться за вимогами НПАОП 0.00-1.24-10 «Правил охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом» (від 23.03.2018).

Особливості території дослідження:

- На об'єкті з видобування блочного каменю із застосуванням малої механізації висота уступу може досягати 6 метрів, при цьому кут укосу може досягати 90 градусів.
- В 20 м від об'єкту проходить лінія ЛЕП, це потрібно враховувати при проектуванні та виконанні маршруту зйомки.

ВИСНОВКИ

Отже, було проведено інтегрування фотограмметричного методу визначення об'єму у проект рекультивації. Проект розроблений на прикладі кар'єру в Житомирській області, м. Кам'яний Брід.

У даній роботі висвітлена важливість проведення рекультивації земель порушених в наслідок відкритих гірничодобувних робіт. У першому розділі проаналізовано законодавче підгрунття на основі Земельного кодексу України, закону «Про охорону земель», кодексу «Про Надра». Також розглянуті різні напрями рекультивації, головним з яких є відновлення рельєфу для повернення земель до сільськогосподарських угідь. З іноземної літератури розглянута концепція Цифрової Моделі Рельєфу та методи її створення: точковий (Point), мережа трикутників (TIN) та метод сітки (GRID). Розглянуті основні моменти фотограмметрії близьких відстаней, а саме підготовка та процес виконання зйомки, основні визначення такі як растр та його характеристики, карта глибини та процес зрівнювання знімків.

У другому розділі наведені короткий опис програм які використовуються в роботі. У Agisoft Metashape на основі вихідних знімків була побудована полігональна модель та ЦМР кар'єру. Цей процес поділений на декілька етапів: перевірка якості знімків, їх зрівнювання, побудова розрідженої хмари точок та полігональної моделі та ЦМР. На моделі була виконана фільтрація об'єктів які могли вплинути на результат розрахунку об'єму. Полігональна модель експортована у форматі .bin для подальших розрахунків у CloudCompare. ЦМР виконана у вигляді растру формату .tif з точністю 21см/пікс.

Для розрахунку об'єму було використано 5 методів у трьох різних програмах, QGIS, ArcMap, CloudCompare. У ГІС системах об'єм був розрахований в автоматичному режимі за допомогою вбудованих алгоритмів та ручним способом шляхом порівняння двох растрів і виведення об'єму через інструмент зональної статистики (QGIS). CloudCompare відрізнявся тим що в ньому розрахунки виконуються на щільній хмарі точок, а не на растрі. Але, на мою думку, він дав найточніший результат. Також побудована 3D модель

фінальної поверхні в QGIS. В кінці був проведений детальний аналіз кожного способу та порівняння результатів.

У третьому розділі проведено аналіз території та виведені рекомендації щодо напрямку рекультивації. Встановлений зв'язок між розрахованими даними об'єму та проектом рекультивації. Для затоплення кар'єру порахований час який повинен пройти до його повного затоплення, він дорівнює 20 років. Наведені дані які повинні бути прописані у технічному завданні на рекультивацію. В кінці наведені рекомендації щодо охорони праці.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Земельний кодекс України – редакція від 17.02.2022
2. Кодекс України «Про Надра» - редакція від 15.01.2022
3. Наказ Про затвердження Правил охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом – редакція від 23.03.2018
4. Закон України Про охорону земель – редакція від 17.02.2022
5. Веб-сайт. Кар'єри України. www.karer.in.ua
6. Веб-сайт. Гранітні кар'єри Житомирщини.
www.karer.in.ua/zhitomir.php
7. Mudura R. Calculate the volume of landfill cristesti, mures using the classical method and digital terrain model using picture from UAV / R. Mudura, A. Trif, B. Nedelcu, C. Bara 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014. – 2014.
8. СОУ 71.12-37-948:2014: База топографічних даних. Правила цифрового опису рельєфу. Стандарт Мінагрополітики України, 2014
9. Веб-сайт. Geo-matching, Article: VectorNav GNSS/INS Systems for Aerial Photogrammetry. <https://geo-matching.com/content/vectornav-gnss/ins-systems-for-aerial-photogrammetry>
10. Веб-сайт. <https://uk.wikipedia.org/wiki/QGIS>
11. Веб-сайт. <https://www.geodose.com/2020/07/how-to-calculate-raster-surface-volume-qgis.html>
12. Веб-сайт. How Surface Volume works /ArcGIS Resources, ArcGIS help 10.2, 10.2.1, and 10.2.2
[/https://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//00q900000037000000](https://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//00q900000037000000)
13. Martin Štroner. Comparison of 2.5d volume calculation methods and software solutions using point clouds scanned before and after mining/ Acta Montanistica Slovaca 24(4):296-306
14. Веб-сайт. Інтерактивна карта ґрунтів України
[/https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy#close](https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy#close)

15. Веб-сайт. Аналіз погодних умов в Україні в 2021 році.
<https://superagronom.com/blog/871-analiz-pogodnih-umov-v-ukrayini-v-2021-rotsi>
16. Зузук Ф. В., Колошко Л. К., Карпюк З. К., / Характеристика ґрунтів західного полісся, Розділ 6, 2014.
17. Рекультивация нарушенных земель [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторным-практическим занятиям / Башкирский государственный университет; сост. М.Д. Бакаева; Н.А. Киреева. — Уфа: РИЦ БашГУ, 2008. — Электрон.
18. А.М. Гайдин. Геоэкология. Инженерная Геология. Гидрогеология. Геокриология. Затопление карьеров. 2009, № 4, с. 371-374
19. Голованов, А. И. Рекультивация нарушенных земель
20. Digital Terrain Modeling Principles and Methodology By Zhilin Li, Christopher Zhu, Chris Gold. Copyright Year 2005/ISBN 9780415324625. Published November 29, 2004 by CRC Press.
21. В.А. Лозинський. Методика визначення об'єму львівського полігону ТПВ з використанням архівних картографічних матеріалів та БПЛА Trimble UX-5.
22. IEEE Computer Graphics and Applications 1982 The Radial Sweep Algorithm for Constructing Triangulated Irregular Networks
23. Bernhard Schneider 2005. Geographical Analysis (Vol.37, Issue 2) Extraction of hierarchical surface networks from bilinear surface patches
24. Веб-сайт. What is a Digital Elevation Model. Equator
<https://equatorstudios.com/what-is-a-digital-elevation-model-dem/>
25. Youtube. Q-tips. QGIS Calculating Volumes.
<https://youtu.be/2r08M4oS5jI>
26. Youtube. Hans van der Kwast. Calculate volumes from a DEM in QGIS
https://youtu.be/sOj_IT8A4Bw
27. Youtube. Remote Sensing and GIS Support. How to Create Elevation Profile from DEM in QGIS
<https://youtu.be/ZikXG-SDzSY>

28. Савосько В. М. Меліорація та фіторекультивуація земель
навчальний посібник / В. М. Савосько. – Кривий Ріг : Видавництво «Діоніс»,
2011. – 288 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Марки та їх місцезположення
А.1



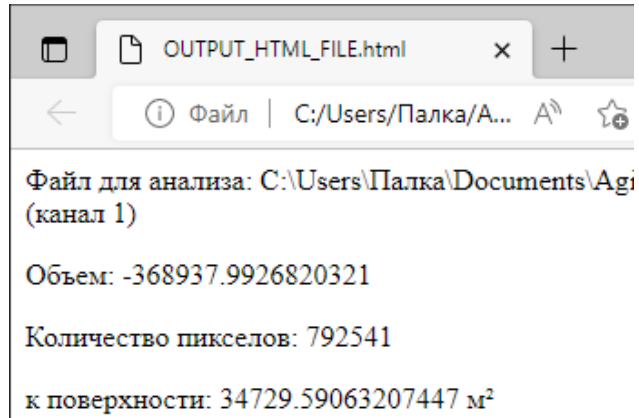
А.2



Додаток Б. Результати вимірювання

Б.1

Б.1.1



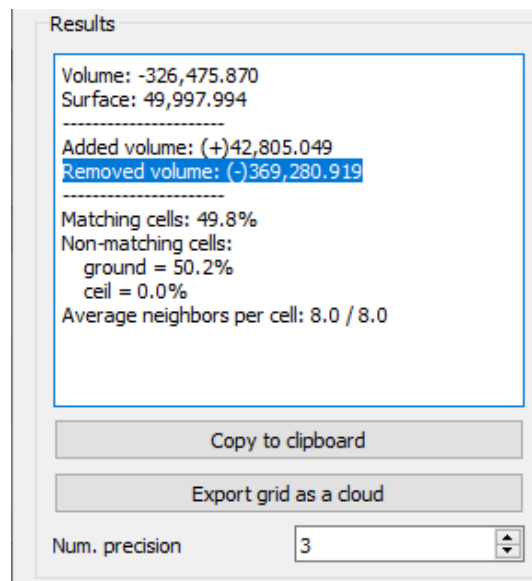
Б.1.2

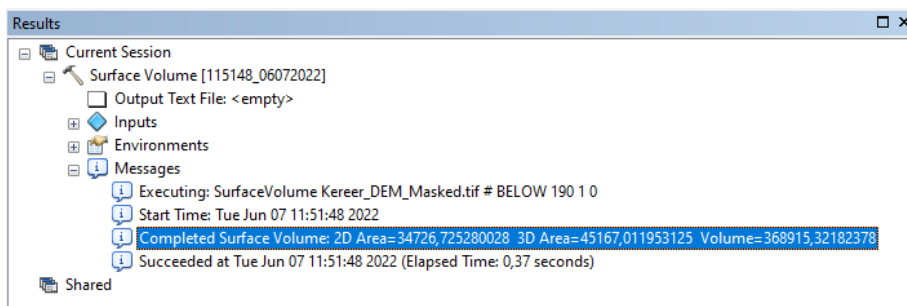
fid	DN	_count	_sum
1	1	792519	371290,6441680...

Б.1.3

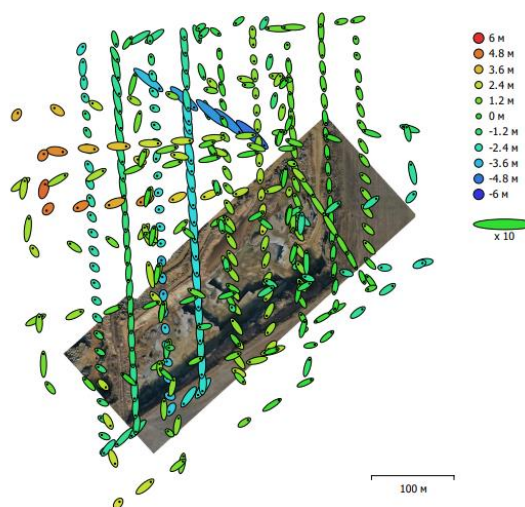
_sum
-373619,719701...

Б.2



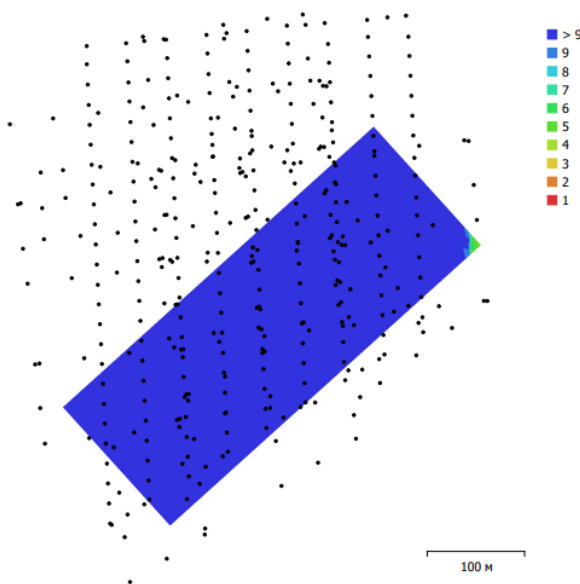


Позиції зйомки та оцінка похибок положення камер

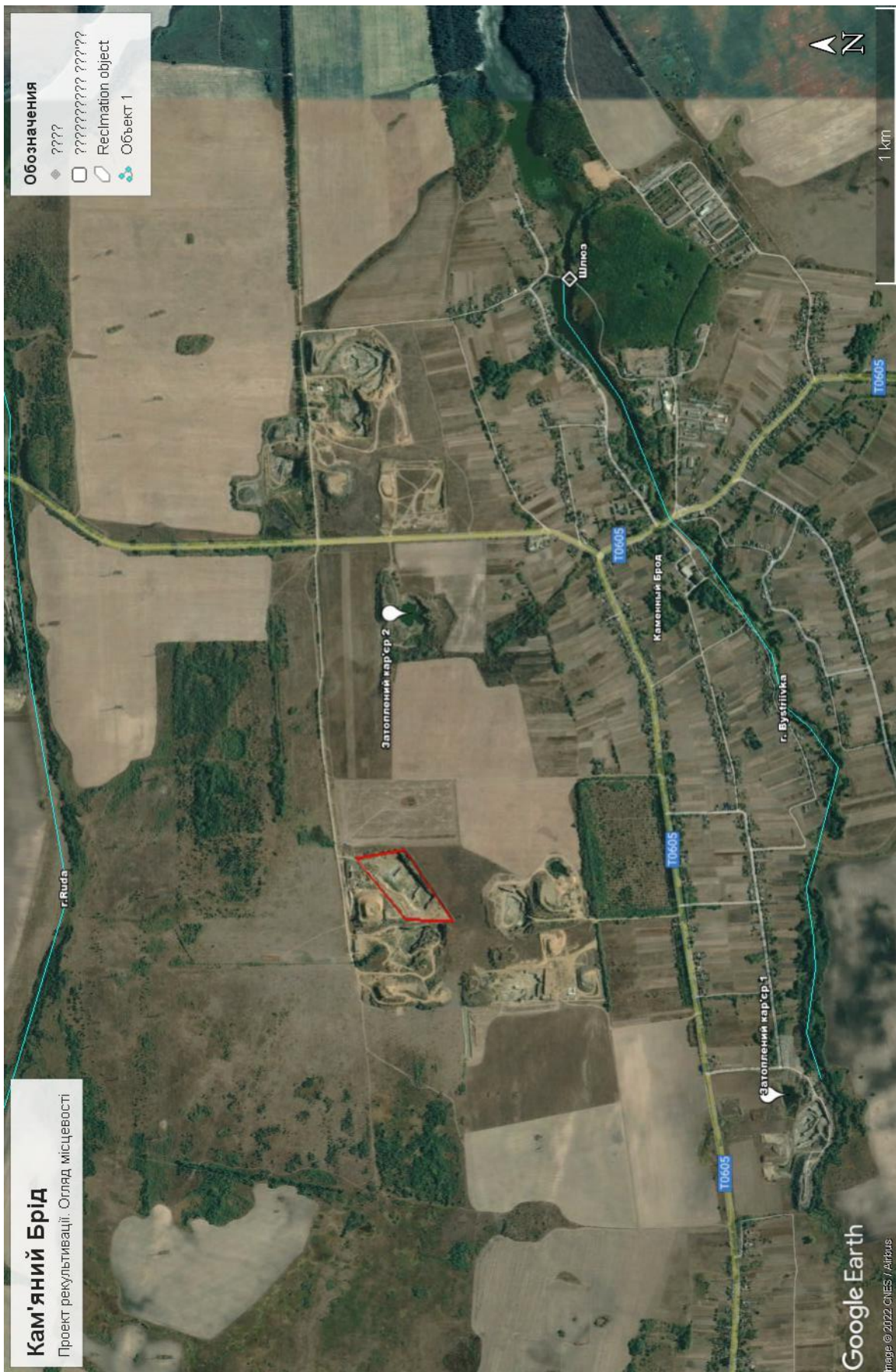


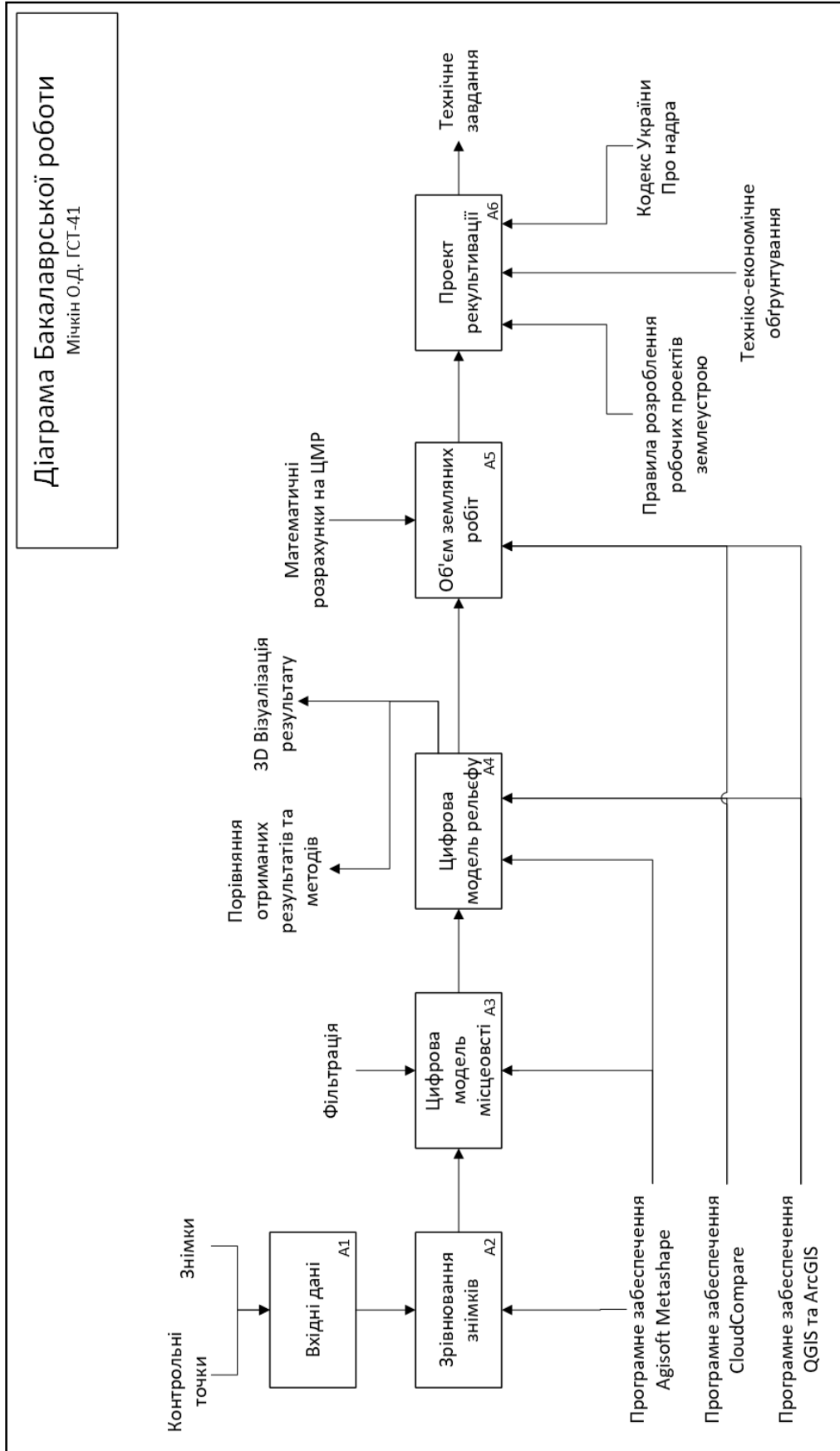
Ошибка, X (м)	Ошибка, Y (м)	Ошибка, Z (м)	Ошибка XY (м)	Общая ошибка (м)
0.847049	1.19224	1.79626	1.46251	2.31635

Перекриття









КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ
КАФЕДРА ГЕОІНФОРМАТИКИ ТА ФОТОГРАММЕТРІЇ

АТЕСТАЦІЙНА ВИПУСКНА РОБОТА

НА ТЕМУ: «**СТВОРЕННЯ ЦМР ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРИКЛАДНОЇ ЗАДАЧІ З РЕКУЛЬТИВАЦІЇ
ЗЕМЕЛЬ ПОРУШЕНИХ ЧЕРЕЗ ВІДКРИТІ ГІРНИЧОДОБУВНІ РОБОТИ**»

ВИКОНАВ:

СТУДЕНТ ГРУПИ ГСТ-41

МІЧКІН ОЛЕКСАНДР ДМИТРОВИЧ

КЕРІВНИК:

ДОЦ. ГОРКОВЧУК ДЕНИС ВІКТОРОВИЧ

2022

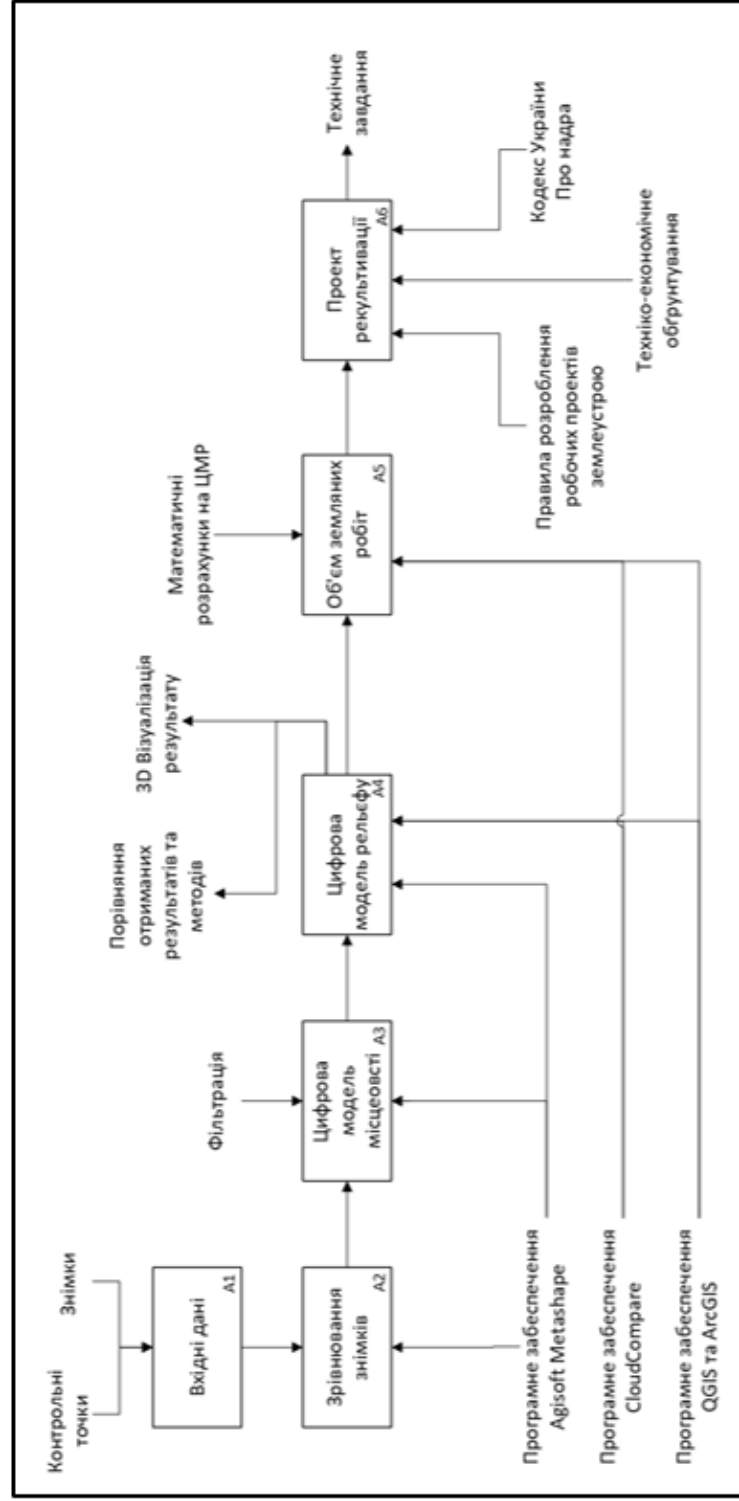
Мета, завдання та предмет дослідження

Мета: Розрахувати об'єм земляних робіт для проекту рекультивациі кар'єру, використовуючи методи фотограмметрії та побудови ЦМР. Порівняти різні методи розрахунків та визначити найточніший

Предмет дослідження: визначення об'єму та площі виїмки кар'єру.

Завдання: Створити ЦМР досліджуваного кар'єру у вигляді полігональної 3д моделі і використати її для аналізу двох способів рекультивациі: відновлення рельєфу та затоплення.

Діаграма Бакалаврської роботи



Розділ 1.

Завдання рекультивації

Рекультивації підлягають землі, рельєф яких був змінений внаслідок проведення гірничодобувних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт [Земельний кодекс України ст.166].

7 напрямів рекультивації:

- **Сільськогосподарський**
- **Водне господарство (загоплення)**
- Лісогосподарський
- Рекреаційний напрям
- Природоохоронний
- Будівельний
- Санітарно-гігієнічний

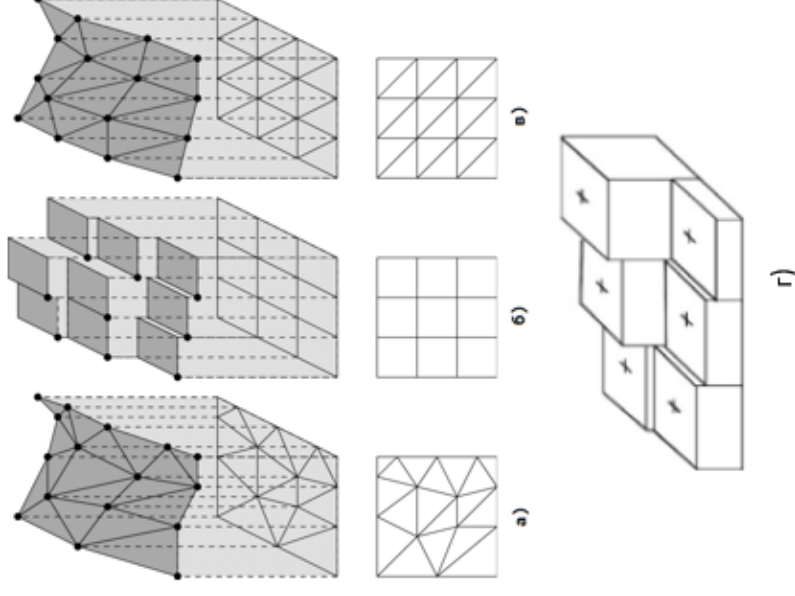
Основні методи цифрового зображення рельєфу

- Нерегулярна TIN (рис. а)
- GRID (рис. б)
- Регулярна TIN (рис. в)
- Точковий (рис. г)

Для проекту рекультивациі необхідна модель яка буде максимально точно відтворювати реальну поверхню.

Метод TIN є найбільш підходящим для побудови 3D моделі рельєфу. Якість такої моделі залежить від кількості полігонів та точок, чим їх більше тим точніше модель.

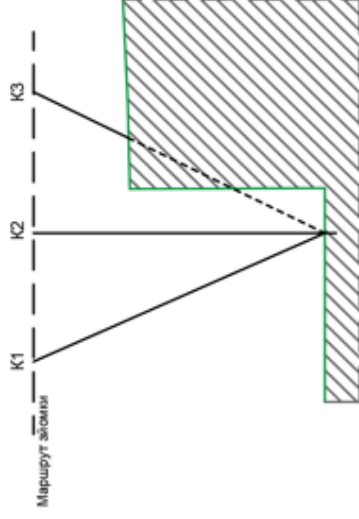
GRID метод використовується для створення ЦМР, так як це дозволить сумістити модель із структурою растрового зображення без втрати даних.



Створення ЦМР кар'єру фотограмметричними методами за допомогою БПЛА

Виконується у три етапи:

1. Підготовка
 - Проектування маршруту з дотриманням вимог перекриття
 - Вибір обладнання (камера, лазерний сканер)
2. Знімання
 - При зйомці кар'єрів потрібно виконувати різні види зйомки:
 - У надирі та перспективі
 - На різних висотах
3. Камеральна обробка даних
 - Оцінка якості знімків
 - Зрівнювання знімків
 - Прив'язка знімків до маркерів
 - Калібрування камери
 - Створення полігональної моделі на основі карти глибин
 - Фільтрація ЦММ
 - Корегування моделі після фільтрації
 - Створення ЦМР та ортофотоплану із заданою точністю



Рельєф перешкоджає спостереженню точки з різних положень камер

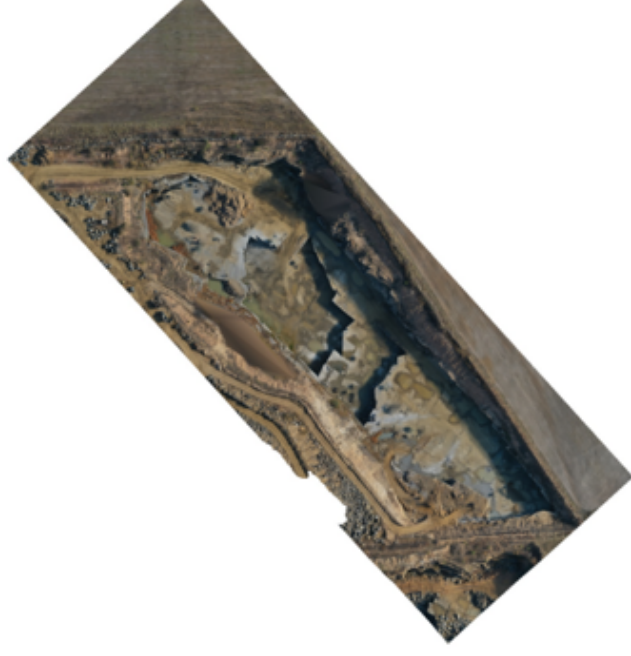
Розділ 2. Об'єкт дослідження

Гранітний кар'єр у Житомирській області біля с. Кам'яний брід.

Для даного кар'єру вибрано два можливих напрямки рекультивації:

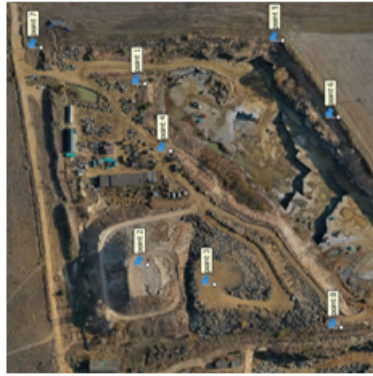
1. відновлення рельєфу та повернення земель до с/г угідь
 - Розрахунок об'єму земляних робіт
2. затоплення
 - Розрахунок часу за який кар'єр наповниться водою.

Задана відмітка нової поверхні – 190 м.



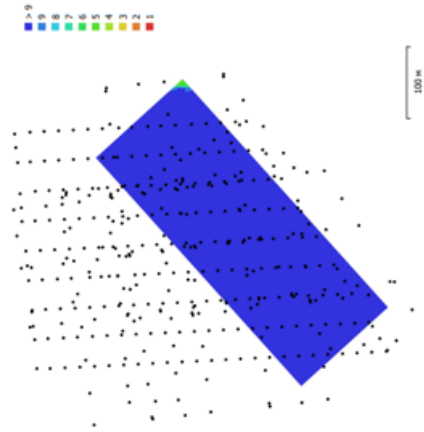
Ортофотоплан

Зрівнювання



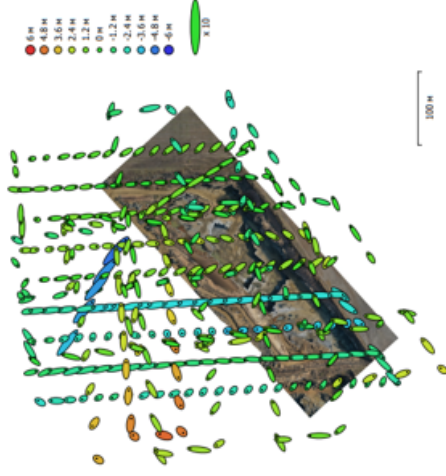
Маркер	Значення рх.
Point 1	0.415
Point 2	0.463
Point 3	0.295
Point 4	0.422
Point 5	0.429
Point 6	0.467
Point 7	0.409
Point 8	0.356

< 0,500 рх



Позиції камер та перекриття

Роздільна здатність
знімання: 2.8 см/пікс



Позиції зйомки та оцінка похибок
положення камери

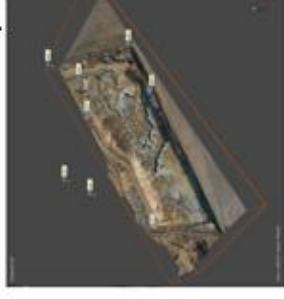
Ошибка, X (м)	Ошибка, Y (м)	Ошибка, Z (м)	Ошибка XY (м)	Общая ошибка (м)
0.887049	1.19224	1.79626	1.46251	2.31635

Середня похибка положення камер

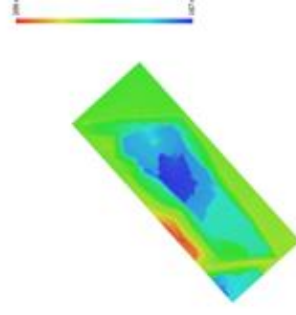
Точність визначення положення маркерів

ЦММ та ЦМР. Фільтрація полігональної моделі

- Фільтрація виконується на полігональній моделі
- ЦММ – цифрова модель місцевості, включає у себе об'єкти інфраструктури, та інші об'єкти які не відносяться до рельєфу
- ЦМР – цифрова модель рельєфу, це відфільтрована від штучних об'єктів ЦММ.

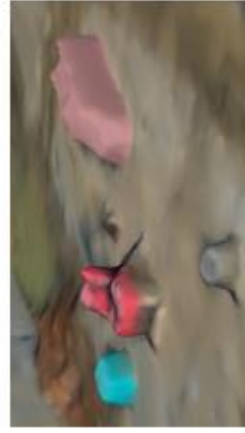


Полігональна модель

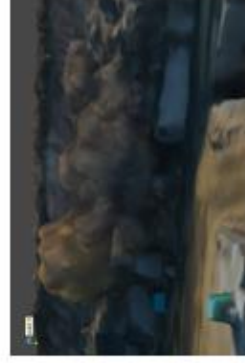


ЦМР

Точність: 21 см/пікс



Робоча техніка на території дослідження

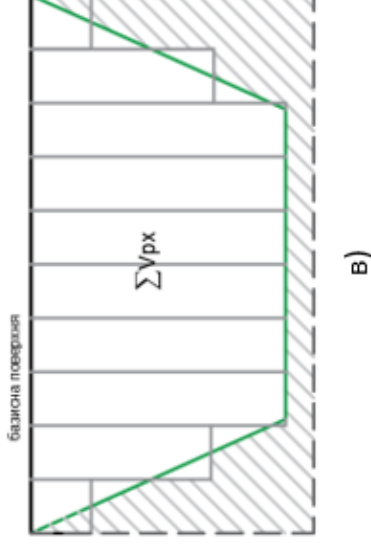
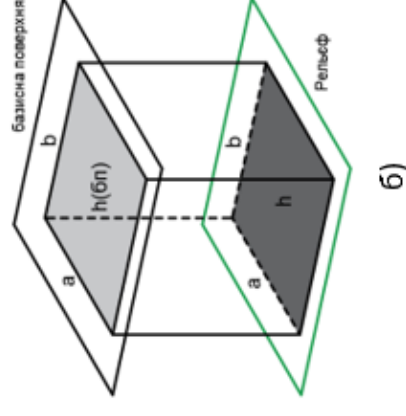
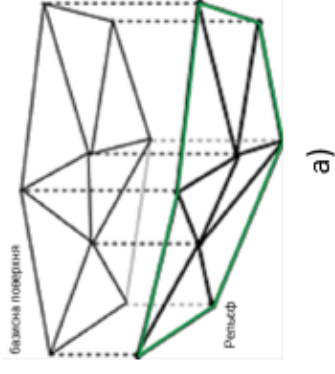


Крони дерев

Опис методів розрахунку об'єму цифрової поверхні

- Розрахунок умовних об'ємних фігур полігонів (призм) Рис.а
- Алгоритми у QGIS, ArcMap
- Розрахунок умовних об'ємних фігур пікселів (паралелепіпедів) Рис.б
- QGIS, CloudCompare

Загальний об'єм буде сумою усіх об'ємів фігур що попадають у зону дослідження. Рис.в



Результати. Таблиця

Метод визначення об'єму	Результат, м ³ (Відхилення від еталону)	Особливості
QGIS спосіб 1	368937,993 (-342,926)	Інструмент розрахунку об'єму растрової інформації
ArcMap	368915,322 (-365,597)	Інструмент 3D аналітики «Surface Volume»
QGIS спосіб 2	371290,644 (+2009,725)	Порівняння двох растрів через різницю, та виведення результату через зональну статистику (sum)
QGIS інтерполяція	373619,720 (+4338,801)	Аналогічно способу 2 але зі створенням другої ЦМР базисної поверхні шляхом заповнення інтерполяцією «Нуль даних»
CloudCompare	369280,919	Інструмент 2.5D Volume calculation. Розрахунок проводиться на 3D моделі, а не на растрі ЦМР

Результати. Порівняння методів розрахунку

GIS алгоритми



- Конвертація GRID у TIN та знаходження об'ємів призм
- + Швидкі та прості
+ Достатньо точні
- Лише від плоскої базисної поверхні із заданою відміткою
- Неможливо поррахувати простір під "нависаючою" поверхнею

Порівняння двох растрів (QGIS)



- Знаходження сумарного об'єму паралелепіпедів на растрі (GRID)
- + Порівняння двох растрів
- Багатоетапність
- Точність залежить від роздільної здатності знімку.

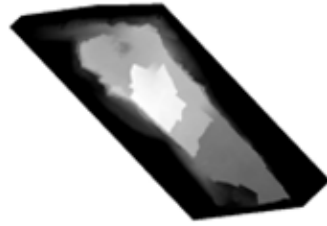
CloudCompare



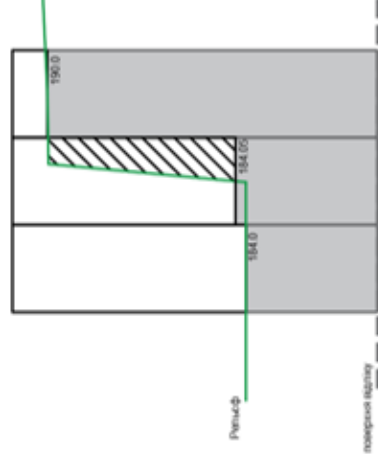
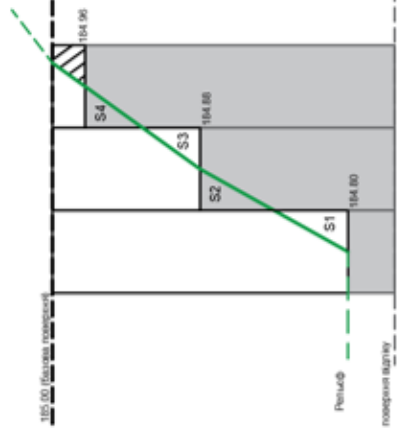
- Конвертація mesh у хмару точок, та розрахунок об'єму паралелепіпедів
- + Вимірювання на 3D моделі
- + Можливість змінювати розмір сітки (GRID) для розрахунку
- + Можливість порівняти дві моделі/поверхні
- Складні моделі потребують більше ресурсів ПК

Результати. QGIS Спосіб порівняння растрів

Через обмеження у роздільній здатності растру ЦМР, можуть виникати надлишкові об'єми, які будуть враховані у сумарне значення (sum) при виконанні зональної статистики растру об'ємів

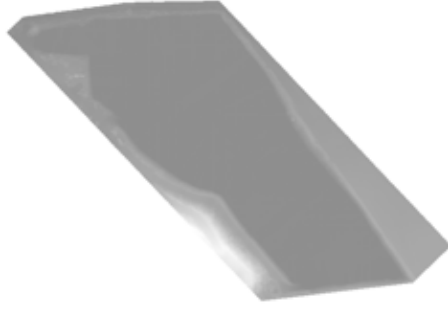


Растр об'ємів



Схеми утворення надлишкових об'ємів

Результати. Створені моделі поверхні



Растр ЦМР фінальної поверхні



3D модель фінальної поверхні побудована у QGIS

Розділ 3. Обґрунтування вибраних методів рекультивації

В районі дослідження переважають малородючі ґрунти (дерново-підзолисті)

- Відновлення рельєфу та повернення земель до с/г угідь
 - Покращення родючих властивостей ґрунту
 - Підвищення цінності земельної ділянки
- Затоплення кар'єру
 - Підвищення рівня зволоженості сусідніх с/г угідь
 - Облаштування водойми для рекреаційного призначення

Використання розрахованих значень в проектах рекультивації

Об'єм виймки – 369280,919 м³ (CloudCompare)

Площа утвореної ділянки - 34729,6 м² (QGIS)

Розраховані об'єм та площа можуть бути використані для визначення земляних робіт та загальної площі утвореної поверхні.

Також виконаний розрахунок часу за який кар'єр повністю наповниться водою:

При кількості опадів 528мм/рік, на заповнення кар'єру знадобиться 20 років

ВИСНОВКИ

- Отже, було проведено інтегрування фотограмметричного методу визначення об'єму кар'єру у проект рекультивації.
- На основі вихідних знімків була побудована полігональна модель та ЦМР кар'єру.
- Для розрахунку об'єму було використано 5 методів у трьох різних програмах, QGIS, ArcMap, CloudCompare, які також були проаналізовані.
- Проведено аналіз території та виведені рекомендації щодо напрямів рекультивації.