

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА  
Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної  
та транспортної інфраструктури

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Розробка програмного додатку для автоматизованого розрахунку об'ємів  
видобутку гірської породи»

Виконав: студент 4 курсу, групи КН 2021-1  
спеціальності

122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

Сергій СМОЛЬКИН

(ім'я та прізвище)

Керівник: Андрій ЄВДОКИМОВ

(ім'я та прізвище)

Рецензент Марина БУЛАЧЕНКО

(ім'я та прізвище)

м. Харків – 2025 рік

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної  
та транспортної інфраструктури

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри КНтаІТ



Новожилова

М.В.

« 25 » 06 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Смолькину Сергію Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка програмного додатку для автоматизованого  
розрахунку об'ємів видобутку гірської породи

керівник роботи Євдокімов Андрій Анатолійович, доцент, канд. техн. наук  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «09» травня 2025 р. №341-03

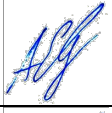
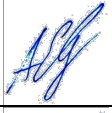
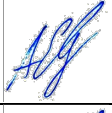
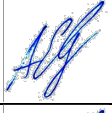



2. Термін подання студентом роботи 25 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: наукові та методичні джерела, цифрові матеріали з мережі інтернет, аерофотознімки на територію кар'єру, файл формату \*.dmf із пікетами.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): виконати обробку вихідних даних; проаналізувати існуючі технології просторового моделювання гірничодобувних комплексів відкритого типу та розробити алгоритм моделювання; розробити та реалізувати модель кар'єру; проаналізувати вирішувані за допомогою просторової моделі задачі та внести пропозиції щодо її використання; вирішити прикладну задачу розрахунку об'ємів вийняття гірських порід; виконати завдання з охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентаційний матеріал у кількості 20 слайдів

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Андрій ЄВДОКИМОВ, к. т. н., доцент кафедри КН та ІТ		
Розділ 2	Андрій ЄВДОКИМОВ, к. т. н., доцент кафедри КН та ІТ		
Розділ 3	Андрій ЄВДОКИМОВ, к. т. н., доцент кафедри КН та ІТ		
Розділ 3	Вікторія Малишева, к. т. н., доцент кафедри безпеки життєдіяльності		

7. Дата видачі завдання 12 травня 2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір теми дипломної роботи	09.05.2025	
2	Затвердження тем, наукових керівників, завдань та календарного плану підготовки дипломної роботи	09.05.2025	
3	Написання I розділу	11.05.2025	
4	Написання II розділу	14.05.2025	
5	Написання III розділу	26.05.2025	
6	Написання IV розділу	26.05.2025	
7	Подання дипломної роботи керівнику	13.06.2025	
8	Робота по усуненню зауважень керівника, уточнення і доповнення практичного матеріалу, оформлення додатків до роботи	15.06.2025	
9	Подання доопрацьованого варіанту роботи керівнику	19.06.2025	
10	Захист матеріалів дипломної роботи на засіданні кафедри	23.06.2025	
11	Офіційний захист матеріалів дипломної роботи на засіданні Державної екзаменаційної комісії	26.06.2025	

Студент \_\_\_\_\_ (підпис)

Сергій СМОЛЬКИН  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ (підпис)

Андрій ЄВДОКИМОВ  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра студента групи Кн 2021-1 спеціальності 122 – Комп'ютерні науки Смолькіна Сергія Валерійовича на тему «Розробка програмного додатку для автоматизованого розрахунку об'ємів видобутку гірської породи» складається з 4 розділів, 68 сторінок, містить 20 рисунків, 5 таблиць і 15 джерел, 7 додатків.

Кваліфікаційну роботу присвячено використанню супутникових знімків та геоінформаційних технологій для розробки програмного додатку для автоматизованого розрахунку об'ємів видобутку гірської породи.

У першому розділі було розглянуто загальні положення, а саме сутність гірничої справи та особливості гірничодобувної промисловості, а також постановку задачі та обґрунтування доцільності дослідження. Доведено доцільність використання ГІС-технології як основи сучасного просторового аналізу у гірничій промисловості.

У другому розділі було розглянуто основні відомості про кар'єр, обрано програмну платформу та спосіб реалізації. Вихідними даними були аерофотознімки, за допомогою програмного забезпечення Delta/Digitals на ЦФС Дельта було виконано їх обробку, отримані пікети конвертовано в ArcGIS та експортовані у створену БГД. На основі розробленої технології моделювання було створено просторову модель кар'єру.

У третьому розділі наведено результати вирішення задачі розрахунку об'ємів вийнятих гірських порід, розглянуто теоретичні основи розрахунку, розроблено методику розрахунку, створено програму на мові VBA для автоматичної побудови лінійних об'єктів по точковим та обчислено об'єм.

У розділі з охорони праці визначено ризики при роботі з комп'ютерною технікою та рекомендовано заходи безпеки при виконанні проектних робіт.

Ключові слова: ГІС, БГД, ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОСТОРОВА МОДЕЛЬ КАР'ЄРУ, ВИРІШЕННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ

## ANNOTATION

Explanatory note of the qualification work of a bachelor's student of the group Kn 2021-1 of the specialty 122 - computer science by Sergey Smolkin on the topic "Development of a software application for automated calculation of rock extraction volumes" consists of 4 sections, 68 pages, contains 20 figures, 5 tables and 15 sources, 7 appendices.

The qualification work is devoted to the use of satellite images and geoinformation technologies for the development of a software application for automated calculation of rock extraction volumes.

The first section considered the general provisions, namely the essence of mining and the features of the mining industry, as well as the formulation of the problem and justification of the feasibility of the study. the feasibility of using gis technology as the basis of modern spatial analysis in the mining industry is proven.

The second section considered the basic information about the quarry, selected the software platform and implementation method. the initial data were aerial photographs, using the delta/digitals software at the delta central mining and quarrying plant, their processing was performed, the received pickets were converted to arcgis and exported to the created bgd. based on the developed modeling technology, a spatial model of the quarry was created.

The third section presents the results of solving the problem of calculating the volumes of extracted rocks, considered the theoretical foundations of the calculation, developed a calculation methodology, created a program in the vba language for automatic construction of linear objects from points and calculated the volume.

The section on labor protection identified risks when working with computer equipment and recommended safety measures when performing design work.

Keywords: GIS, BGD, MODELING TECHNOLOGY, SPATIAL MODEL OF THE QUARRY, SOLVING APPLIED PROBLEMS

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	11
1.1 Сутність гірничої справи та особливості гірничодобувної промисловості .....	11
1.2 Постановка задачі та обґрунтування доцільності дослідження.....	13
Висновки по розділу .....	17
РОЗДІЛ 2 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	18
2.1 Характеристика кар'єру, що використовується для моделювання.....	18
2.2 Вибір програмного забезпечення та підходів до реалізації.....	21
2.3 Збір та обробка вхідних даних.....	23
2.4 Технологія моделювання кар'єру.....	39
2.5 Реалізація моделі.....	41
Висновки по розділу .....	45
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	46
3.1 Перелік завдань, що можуть бути вирішені за допомогою цифрової моделі кар'єру.....	46
3.2 Розрахунок об'ємів вироблення .....	47
3.3 Апробація створеної прикладної програми.....	53
3.4 Верифікація розрахунків в альтернативному програмному середовищі.....	58
Висновки по розділу .....	62
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	63
4.1 Регулювання питань охорони праці на законодавчому рівні.....	63
4.2 Виявлення потенційних небезпек стосовно об'єкту проектування.....	66

4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування та розробка заходів щодо їх попередження.....	67
Висновки по розділу .....	69
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
ДОДАТОК А.....	75
ДОДАТОК Б .....	76
ДОДАТОК В.....	77
ДОДАТОК Г .....	78
ДОДАТОК Д.....	81
ДОДАТОК Е .....	86
ДОДАТОК Є.....	87

## ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасна гірничодобувна промисловість потребує ефективних і точних інструментів для моніторингу та планування об'ємів видобутку корисних копалин. Традиційні методи розрахунку об'ємів гірської породи часто є трудомісткими, недостатньо точними та не дозволяють оперативно реагувати на зміни геометрії кар'єру в процесі його експлуатації. У зв'язку з цим зростає потреба у створенні автоматизованих програмних засобів, які дозволяють виконувати просторове моделювання гірничих виробок і розрахунки об'ємів гірської маси на основі актуальних геоданих.

Особливої актуальності ця тема набуває у контексті цифровізації гірничодобувних підприємств, де використання геоінформаційних технологій, 3D-моделей дозволяє підвищити точність розрахунків, зменшити витрати на обробку даних і покращити планування гірничих робіт. Розробка програмного додатку, що автоматизує процес обчислення об'ємів видобутку, сприяє підвищенню ефективності виробництва, контролю витрат та зменшенню впливу на навколишнє середовище завдяки точному плануванню.

Таким чином, розробка інструменту, що поєднує геоінформаційний підхід і просторове моделювання, є актуальною задачею як з точки зору інженерного забезпечення виробництва, так і з позиції наукового дослідження у сфері геоінформаційних систем та гірничих технологій.

Мета дослідження: створити програмний додаток, який дозволяє виконувати автоматизований розрахунок об'ємів видобутку гірської породи на основі цифрової просторової моделі кар'єру, з урахуванням технічних параметрів та змін рельєфу.

Об'єкт дослідження: процес видобутку гірської породи у відкритих гірничодобувних комплексах.

Предмет дослідження: методи та програмні засоби просторового моделювання кар'єрів і розрахунку об'ємів видобутої гірської маси.

Завдання дослідження:

- Виконати збір та обробку вхідних геопросторових і інженерних даних.
- Провести аналіз сучасних технологій просторового моделювання гірничодобувних комплексів та розробити алгоритм обчислення об'ємів.
- Розробити тривимірну цифрову модель кар'єру на базі ГІС-даних або хмари точок.
- Реалізувати алгоритм розрахунку об'ємів гірської маси в межах розкриву або вийняття у вигляді програмного додатку.
- Проаналізувати результати та сформулювати рекомендації щодо практичного застосування розробленого інструменту.

Методи аналізу:

- Геоінформаційний аналіз цифрових моделей рельєфу (ЦМР) та поверхні (ЦМП);
- Методика об'ємного розрахунку за TIN-моделями (трикутна нерегулярна сітка);
- Алгоритмічне моделювання;
- Порівняльний аналіз на основі оцінки похибок між різними етапами видобутку (до/після);
- Візуалізація даних за допомогою програмного забезпечення ArcGIS.

Просторове моделювання поверхні робочої зони кар'єру потребує точного представлення контурів уступів та інших елементів гірничих робіт, а також мережі транспортних комунікацій з точним представленням її структури.

Особливості виконання цих робіт розглянуті на прикладі кар'єру, в якому проводиться видобуток залізної руди високої якості, що експортується

за кордон. Кар'єр є одним із найбільших на території України, його протяжність складає більше 5 км, а глибина 340 м, що також вносить певну специфічність при роботі з ним у ГІС.

## РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

### 1.1 Сутність гірничої справи та особливості гірничодобувної промисловості

Гірнича справа – це сфера практичної діяльності, пов’язана з видобуванням корисних копалин з надр Землі. Традиційно вона асоціюється з видобутком руд, що містять метали, проте галузь також охоплює видобуток нерудної сировини (граніту, вапняку, флюсів), твердого палива (вугілля, торфу), а також сірки, калійної і кам’яної солей, будівельних матеріалів та інших мінералів [1].

Гірничодобувна промисловість забезпечує широкий спектр галузей економіки стратегічно важливою сировиною. Вибір методу розробки родовищ залежить від кількох факторів: глибини залягання, форми та розмірів покладу, а також фізико-механічних властивостей як корисної копалини, так і вміщуючих порід.

Найпоширенішими методами видобутку є:

- Підземна розробка через вертикальні стволи – застосовується для глибоких родовищ. Руду доставляють на поверхню за допомогою підйомників.
- Похилі гірничі виробки – використовуються для транспортування корисної копалини автотранспортом з середніх глибин.
- Відкритий спосіб (кар’єри, розрізи) – доцільний у разі неглибокого залягання покладів. Застосування важкої техніки дає змогу ефективно розробляти великі обсяги породи.

- Штольні – горизонтальні виробки, що прокладаються переважно на схилах у місцях виходу корисних копалин на поверхню.

Відкрита розробка (див. рис. 1.1) вважається найбільш економічно вигідною, адже дозволяє використовувати високопродуктивну техніку, що забезпечує великі обсяги добування за зміну. Умови праці в кар'єрах безпечніші, а потреба в контролюючому персоналі нижча порівняно з підземними роботами. Перед початком видобутку проводяться вскришні роботи – видалення пустих порід, що покривають поклад [2].

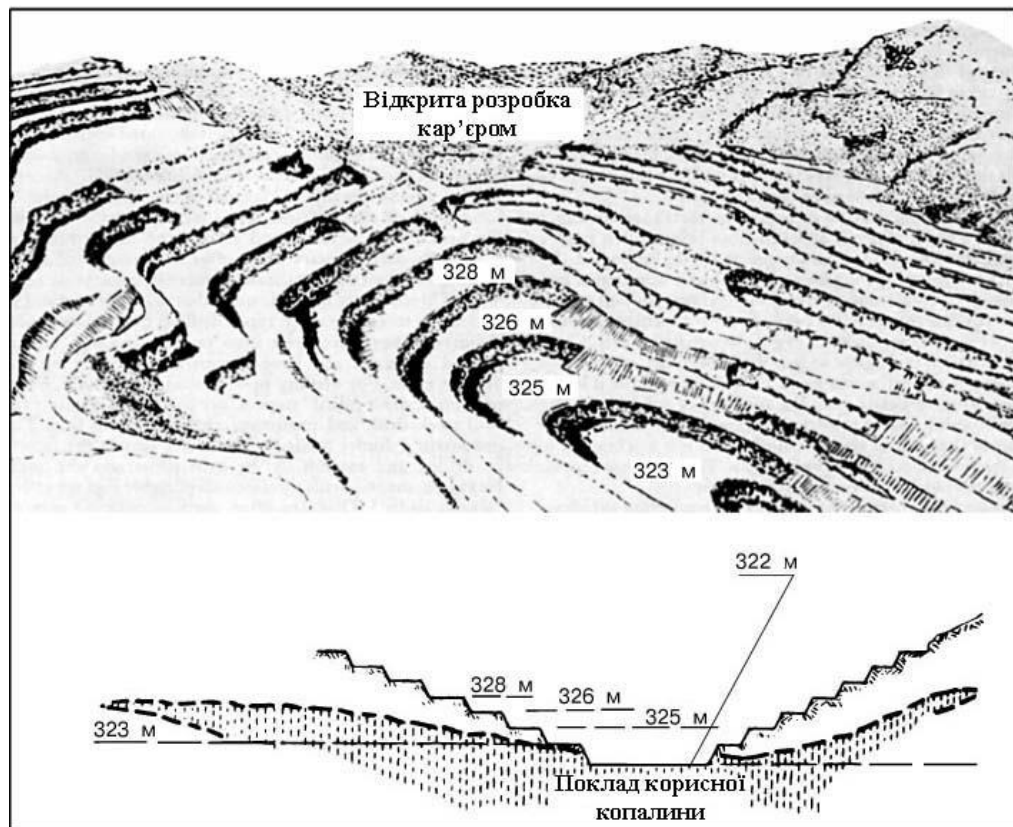


Рисунок 1.1 – Приклад відкритої розробки кар'єром

Гірничодобувна промисловість – це сукупність галузей, що займаються видобутком та первинною переробкою (збагаченням) корисних копалин. Вона є базовою складовою національної економіки, забезпечуючи сировиною

енергетичний, металургійний, хімічний, будівельний та інші сектори промисловості [3].

До складу гірничодобувної промисловості входять:

- Паливна промисловість – видобуток вугілля, нафти, природного газу, горючих сланців і торфу.
- Гірничо-хімічна промисловість – видобуток сировини для хімічної промисловості (сірка, фосфорити, апатити, калійні солі, кухонна сіль тощо).
- Гірничорудна промисловість – видобуток руд чорних, кольорових і рідкісних металів (залізо, марганець, мідь, нікель, уран та ін.).
- Добування неметалевої сировини – включає видобуток алмазів, графіту, плавікового та польового шпату, азбесту, слюди, доломіту, кварциту, каоліну, вогнетривких та інших глин, мергелю, а також мінеральних будівельних матеріалів [4].

Ці галузі відрізняються специфікою технічних процесів, вимогами до обладнання та характером видобутої сировини, але їх об'єднує спільна мета – забезпечення економіки країни ресурсами природного походження [5].

## 1.2 Постановка задачі та обґрунтування доцільності дослідження

Згідно з темою кваліфікаційної роботи, головною метою дослідження є розробка програмного додатку для автоматизованого розрахунку об'ємів видобутку гірської породи на основі просторового моделювання кар'єру. Такий підхід є надзвичайно актуальним в умовах цифровізації гірничодобувної галузі, де сучасні інформаційні технології відіграють вирішальну роль у плануванні, моніторингу та прогнозуванні гірничих процесів.

Розвиток автоматизованих систем управління відкритими гірничими роботами, включаючи диспетчеризацію транспорту і облікові системи видобутку, вимагає наявності точної цифрової моделі кар'єру. Ця модель має відображати як геометрію рельєфу з усіма контурами уступів, так і мережу транспортних комунікацій, забезпечуючи основу для подальшого просторового аналізу та інженерних розрахунків.

З урахуванням цього, у межах роботи ставляться наступні задачі:

- обробити вихідні просторові дані;
- розробити та реалізувати алгоритм побудови цифрової моделі кар'єру;
- оцінити точність отриманої моделі;
- реалізувати засобами ГІС інструментарій для автоматизованого розрахунку об'ємів вийняття гірської маси;
- проаналізувати можливості використання розробленого підходу в рамках гірничого підприємства.

Використання геоінформаційних систем (ГІС) для просторового моделювання є виправданим і обґрунтованим підходом. ГІС-технології об'єднують можливості збереження, обробки, візуалізації та аналізу просторових даних, що робить їх універсальним інструментом у гірничій справі [6].

Серед ключових переваг впровадження ГІС у гірничодобувне виробництво слід виокремити:

- Підвищення точності розрахунків та рішень завдяки візуалізації та аналізу просторових зв'язків між геооб'єктами;
- Зменшення витрат часу на обробку даних завдяки автоматизованим алгоритмам пошуку, фільтрації та аналізу;
- Покращення управління підприємством, завдяки інтеграції між підрозділами, які можуть використовувати спільну базу просторових даних;

- Підтримка прийняття рішень через візуалізацію складної інформації у вигляді карт, діаграм та графіків;
- Універсальність – можливість використання ГІС для тривимірного моделювання як для інженерного проектування, так і для облікових чи екологічних задач.

Таким чином, розробка цифрової геомоделі кар'єру з інтегрованим модулем розрахунку об'ємів видобутку є сучасним, актуальним та практично значущим напрямом дослідження, що має вагоме прикладне значення в галузі гірничої справи.

Особливості застосування ГІС у просторовому моделюванні гірничодобувних об'єктів. Геоінформаційні системи (ГІС) забезпечують потужний інструментарій для виконання як статичних, так і динамічних операцій над просторовими моделями, що дозволяє ефективно використовувати їх у гірничодобувній галузі.

Статичні операції передбачають аналіз просторових характеристик об'єктів без їх зміни. Сюди належать:

- визначення відстаней і напрямків;
- розрахунок довжин, площ, об'ємів, периметрів;
- встановлення просторових відношень між об'єктами (сусідство, перетин, близькість тощо);
- обчислення координат геометричних центрів полігонів (центроїдів).

Динамічні операції змінюють просторову структуру об'єктів і включають:

- створення, оновлення, видалення об'єктів;
- трансформації: масштабування, поворот, переміщення, відображення;
- зміну топології: злиття, поділ, генерація нових геометричних форм на основі аналізу.

ГІС дозволяє реалізовувати багатоваріантне моделювання на всіх етапах інформаційного супроводу: від збору даних до аналізу результатів. Це досягається через варіативність вхідних просторових даних, налаштування алгоритмів моделювання та багатоформатне представлення результатів (карти, графіки, 3D-моделі тощо) [7].

Серед ключових технологій просторового аналізу, які реалізуються в ГІС:

- трансформація проекцій і координат (переведення між системами координат, узгодження даних);
- обчислювальна геометрія (розрахунок метричних характеристик об'єктів);
- оверлейні (накладні) операції – аналіз суміщених шарів для виявлення просторових залежностей;
- буферизація – створення зон впливу навколо об'єктів;
- мережевий аналіз – оптимізація маршрутів і транспортних комунікацій;
- цифрове моделювання рельєфу (ЦМР) – побудова цифрових моделей висот для аналізу профілю території;
- реструктуризація даних – конвертація між векторним і растровим форматами.

Завдяки вищезазначеним можливостям, впровадження ГІС у гірниче виробництво дозволяє:

- створювати точні цифрові моделі кар'єрів;
- проводити розрахунок об'ємів видобутку корисних копалин;
- здійснювати моніторинг техногенного навантаження на довкілля;
- забезпечувати просторове планування та контроль за розробкою родовищ.

Для практичного впровадження ГІС у гірничу галузь необхідно отримати цифрові просторові дані про рельєф місцевості. Це можливо завдяки застосуванню таких технологій, як:

- GPS- та GNSS-зйомка;
- аерофотозйомка (включаючи дрони);
- лазерне сканування (LIDAR);
- обробка супутникових знімків високої роздільної здатності;
- традиційні геодезичні методи.

Таким чином, ГІС-технології є основою сучасного просторового аналізу у гірничій промисловості, забезпечуючи високу точність, гнучкість і автоматизацію прийняття рішень на всіх етапах видобутку.

#### Висновки по розділу

У першому розділі було розглянуто загальні положення, а саме сутність гірничої справи та особливості гірничодобувної промисловості, а також постановку задачі та обґрунтування доцільності дослідження. Доведено доцільність використання ГІС-технології як основи сучасного просторового аналізу у гірничій промисловості.

## РОЗДІЛ 2 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 2.1 Характеристика кар'єру, що використовується для моделювання

Об'єктом просторового моделювання в межах даного дослідження є кар'єр Полтавського гірничо-збагачувального комбінату (ПГЗК), який здійснює видобуток залізистих кварцитів із Горішнє-Плавнинського та Лавриковського родовищ. Комбінат є одним із провідних підприємств вітчизняної гірничодобувної галузі. Кар'єр розташований у межах міста Горішні Плавні (колишня назва – Комсомольськ) Полтавської області.

Зазначені родовища залягають у межах Середнього Придніпров'я, на території Кременчуцького району. Географічно кар'єр розташований у зоні першої заплавної тераси річки Дніпро, яка характеризується ерозійно-аккумулятивним рельєфом із незначною хвилястістю, наявністю солончаків, заболочених западин та абсолютними відмітками в межах 50–70 метрів. У результаті гірничої діяльності сформувався техногенний рельєф, висоти якого здебільшого сягають 65–68 метрів.

На сучасному етапі для досліджуваної території характерне активне антропогенне навантаження та відсутність значних лісових масивів, що суттєво спрощує дистанційне зондування та дешифрування знімків.

Транспортна доступність кар'єру є однією з переваг його розташування. Комбінат з'єднаний залізничною гілкою з вузловою станцією Потоки, що знаходиться на відстані близько 10–12 км. Територію також перетинає розгалужена мережа автомобільних шляхів з твердим покриттям. Додаткову логістичну перевагу забезпечує річка Дніпро, яка є судноплавною більшу частину року. Найближчі вантажні пристані: Горішні Плавні ( $\approx 5$  км), Каліберда ( $\approx 10$  км), Кременчук ( $\approx 30$  км).

Гірничі роботи на підприємстві проводяться поетапно на 24 технологічних горизонтах, що дозволяє гнучко керувати видобутком і здійснювати його по мірі розкриття покладів. Характеристики кар'єру наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики кар'єру

Характеристика	Значення
Довжина кар'єру по поверхні	5,8 км
Ширина кар'єру по поверхні	1,5 км
Глибина у південній частині	340 м
Глибина у північній частині	150 м
Загальний об'єм виготовлення окатишів із добутої в кар'єрі сировини (на 2010 р.)	10 млн. т

Верхній покрив порід представлений суглинками, пісками та глинами. Серед скельних порід, які відносяться до вскришних, наявні сланці, некондиційні кварцити, амфіболіти, а також граніти та гранодіорити. Ці породи створюють техногенне навантаження при видобутку, потребуючи спеціальних методів буропідривних робіт і механічного навантаження [8].

Фотографії кар'єру у південній та східній частині представлені на рисунку 2.1.



а)



б)

Рисунок 2.1 – Кар’єр ПГЗК: а) західна частина кар’єру; б) південна частина кар’єру

У додатку А наведено фрагмент топографічної карти з прив’язкою кар’єру, а у додатку Б – супутниковий знімок місцевості, отриманий із сервісу Google Earth.

## 2.2 Вибір програмного забезпечення та підходів до реалізації

На основі проведеного у першому розділі аналізу програмних рішень, що використовуються у сфері просторового моделювання та маркшейдерії як в Україні, так і за кордоном, було обґрунтовано доцільність вибору ArcGIS (розробник – ESRI, США) як основної платформи для реалізації проєкту. ArcGIS є одним із найпотужніших геоінформаційних продуктів, що поєднує широкі аналітичні можливості, інструменти тривимірного моделювання та засоби інтеграції у корпоративні IT-інфраструктури [9]. Це особливо важливо для масштабних гірничодобувних підприємств, таких як Полтавський ГЗК, де актуальним є впровадження централізованих геоінформаційних систем підтримки прийняття рішень .

Для обробки вихідних просторових даних, зокрема аерофотознімків, було прийнято рішення використовувати програмне забезпечення Delta/Digitals. Цей програмний комплекс розроблено українськими компаніями ДНВП «Геосистема» та ТОВ «Аналітика» (м. Вінниця) і він спеціалізується на фотограмметричній обробці зображень, створенні цифрових моделей рельєфу та формуванні тематичних карт.

До складу програмної лінійки Digitals входять наступні компоненти:

- Digital Standard – базовий модуль, що забезпечує створення цифрових карт, моделювання рельєфу, розрахунок площ і обсягів, підтримку форматів In4 та інші базові функції геообробки;
- Digital Professional – розширена версія, яка дозволяє працювати з растровими зображеннями, забезпечує зберігання карт на SQL-серверах і підтримує багатокористувацький доступ;
- Delta/Digitals – повнофункціональне рішення для цифрової фотограмметричної станції (ЦФС), яке дає змогу проводити стереоскопічні вимірювання, створювати триангуляційні мережі, виконувати їх згладжування, а також

формувати ортофотоплани, цифрові карти та інші топографічні продукти.

Функціонал ЦФС Delta дозволяє здійснювати повний цикл обробки аерофотознімків – від імпорту та первинного вирівнювання до створення високоточних цифрових карт та 3D-моделей кар'єру. Це забезпечує інтеграцію отриманих результатів у середовище ArcGIS для подальшого аналізу, моделювання та автоматизованого розрахунку об'ємів видобутку гірської породи.

Таким чином, вибір програмних платформ обґрунтований вимогами до точності, функціональності та масштабованості проєкту, а обраний підхід дозволяє забезпечити комплексну обробку просторових даних – від аерофотозйомки до створення 3D-моделі кар'єру та проведення інженерних розрахунків. [27]. Програмні продукти та їх взаємодія у процесі моделювання представлено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Програмні продукти та їх взаємодія у процесі моделювання

### 2.3 Збір та обробка вхідних даних

У рамках дипломного проєкту для створення просторової моделі кар'єру використовувались матеріали аерофотозйомки, що забезпечують високу точність у відображенні топографії досліджуваної території.

Аерофотозйомка (АФЗ) була виконана в масштабі 1:8000 з використанням аерофотокамери AF/Zeiss LMK 265014A/1, обладнаної ширококутним об'єктивом з фокусною відстанню 153 мм. Зйомка проводилась на кольорову плівку Kodak (США), розмір кадру – 23 × 23 см. Проявлення плівки здійснювалося за допомогою автоматизованої проявної машини Colenta, що забезпечує стабільну якість зображення та дотримання параметрів обробки.

Авіаційні маршрути для фотозйомки були прокладені в напрямку із заходу на схід, що відповідає типовим вимогам до картографічного знімання територій з протяжними об'єктами. Параметри перекриття аерофотознімків склали:

- поздовжнє перекриття – 60%, що забезпечує отримання стереопар;
- поперечне перекриття – 40%, для забезпечення безперервності покриття території.

Зйомка виконувалась з борту спеціалізованого літака АН-30, який обладнаний для аерофотозйомки високої точності. Швидкість польоту під час проведення АФЗ становила близько 320 км/год, що є оптимальним режимом для забезпечення чіткості зображень і дотримання геометричних параметрів перекриття.

Обробка отриманих фотоматеріалів здійснювалась за класичною фотограмметричною методикою, яка включає:

- створення стереопар для побудови цифрової моделі рельєфу;
- прив'язку знімків до координатної системи проєкту;

- векторизацію контурів кар'єру;
- підготовку базових геоданих для подальшого використання в ГІС-середовищі.

Схематична послідовність збору та обробки фотограмметричної інформації наведена на рисунку 2.3.

Таким чином, використання матеріалів аерофотозйомки у поєднанні з цифровими технологіями обробки дозволяє забезпечити високу точність просторового моделювання кар'єру та здійснити коректні розрахунки об'ємів видобутої гірської маси.

Планово-висотна прив'язка виконувалася із використанням технології GNSS вимірювання з використанням двочастотних GNSS - приймачів Leica Viva GS16 (рис. 2.4) в режимі статики [28].

LEICA GS16 – компактний ГНСС-приймач з 555 каналами для високоточних робіт

Leica GS16 – легкий і надійний геодезичний GNSS приймач, його нова високочутлива 555 канална плата підтримує роботу з сигналами всіх існуючих супутникових систем, що гарантує фіксоване рішення в найскладніших умовах спостережень [10].

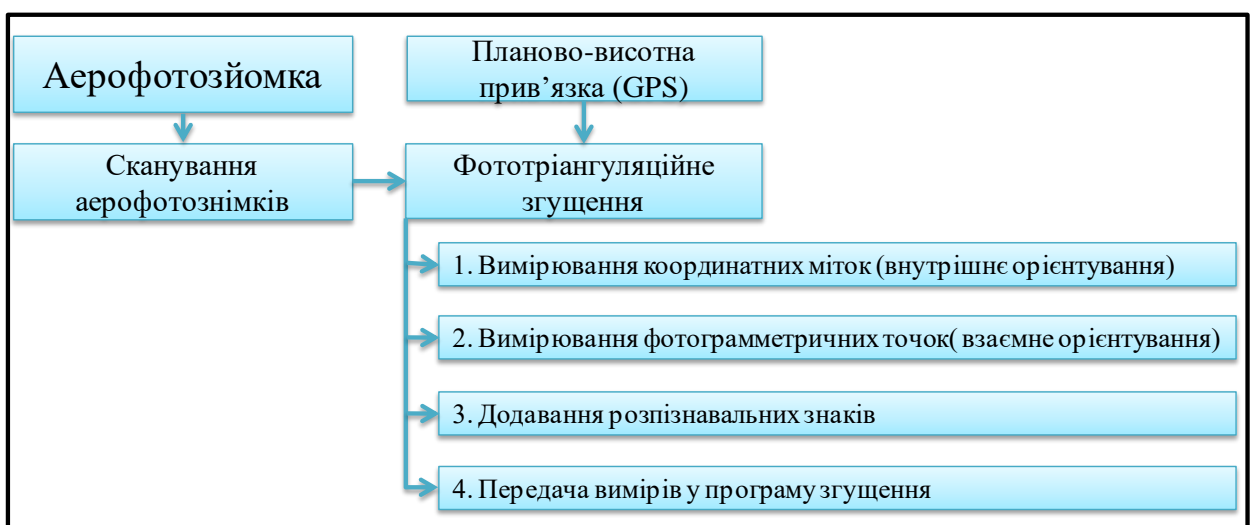


Рисунок 2.3 – Спрощена схема методики обробки фотограмметричної інформації на ЦФС Дельта

Супутниковий GNSS-приймач Leica GS16 має можливість роботи за технологією SmartLink / fill для заповнення прогалів в роботі режиму RTK, або взагалі без використання базових RTK станцій з точністю в режимі реального часу до 5 см в плані. SmartLink fill - сервіс, що дозволяє працювати після втрати зв'язку з базовою станцією до 10 хвилин з сантиметровою точністю (зазвичай 5 см). SmartLink - сервіс, який замінює RTK, дозволяє з сантиметровою точністю працювати там, де немає можливості отримувати поправки по мережі GSM або радіоканалу.

По закінченні польових вимірювань проводиться обчислення планово-висотних розпізнавальних знаків з використанням програмного забезпечення обробки супутникових вимірювань Leica Captivate. Всі виміряні, отримані геодезичним супутниковим приймачем Leica GS16, а також і проектні дані, можна переглядати і використовувати в тривимірному просторі завдяки польовому програмному забезпеченню .

Після проведення аерофотозйомки було виконане сканування знімків. Під скануванням розуміють перетворення фотографічного зображення в цифрову форму. Оскільки фотограмметричний знімок відрізняється високою роздільною здатністю та високими метричними характеристиками, то процес сканування не повинен погіршувати ці позитивні риси фотозображення [10].



Рисунок 2.4 – GNSS - приймач Leica Viva GS16

На рисунку 2.5 представлено схему сканера та сам сканер, на якому виконувалося сканування.

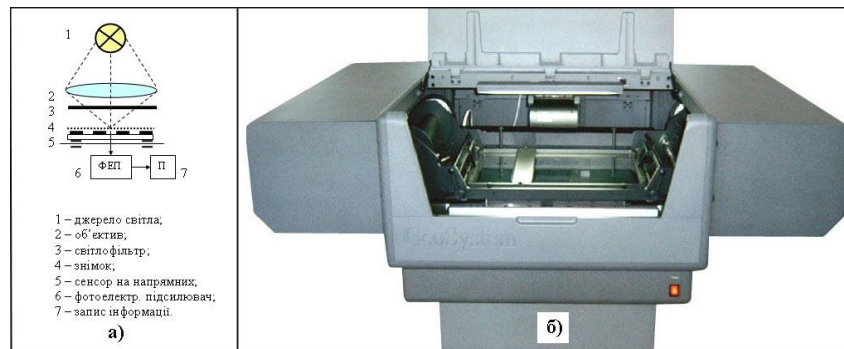


Рисунок 2.5 – Сканер для сканування аерофотознімків: а) схема сканера; б) сканер DeltaScan Color фірми “Геосистема” (Вінниця)

Процес сканування включає такі етапи:

- підготовка матеріалу до сканування;
- підготовка приладу до роботи;
- попереднє сканування;
- обробка гістограми зображення, отриманого в режимі попереднього сканування.
- безпосереднє сканування знімка;
- контроль метрики знімка [10].

Аеронегативи скановані на фотограмметричному сканері з роздільною здатністю 24 мкм і в подальшому використані при фотограмметричних роботах. На рисунку 2.6 представлені неорієнтовані знімки, з якими надалі буде проведено роботу.

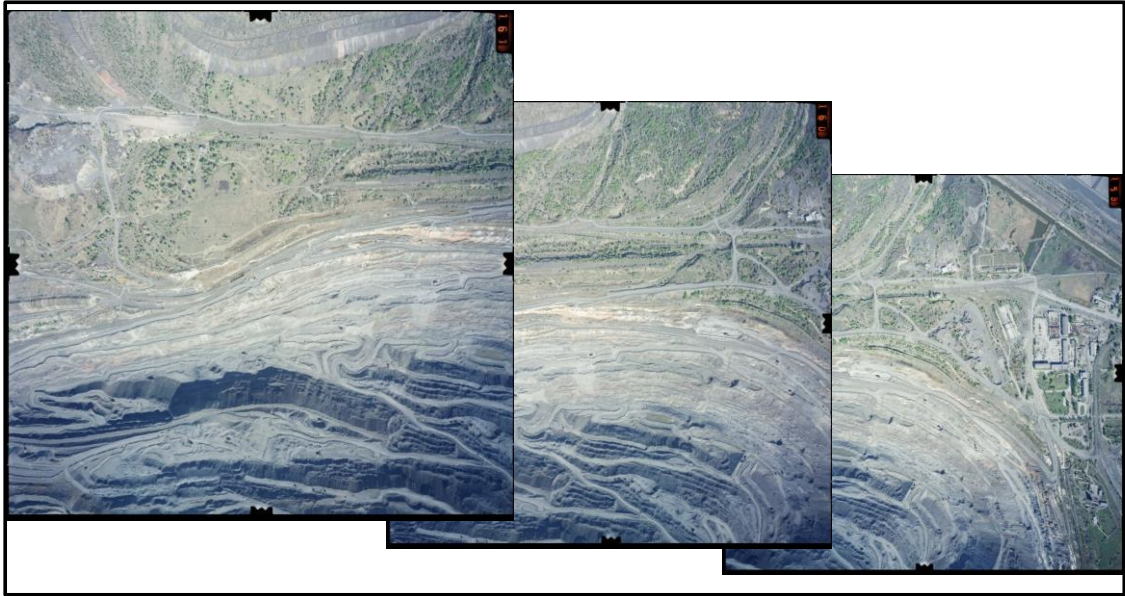


Рисунок 2.6 – Приклад аерофотознімків, що будуть використані при моделюванні

Фотограмметрична обробка аерофотознімків. Після завершення планово-висотної прив'язки та сканування аерофотознімків виконується їх подальша фотограмметрична обробка за допомогою програмного комплексу Delta/Digitals.

Програмне забезпечення ЦФС (цифрової фотограмметричної станції) Delta включає дев'ять основних функціональних модулів: «Камера», «Опора», «Блок», «Триангуляція», «Модель», «Збір», «DIPedit», «Архів», «Довідка».

Процес фотограмметричної обробки в Delta/Digitals складається з послідовності п'яти основних етапів:

1. Камера – задаються параметри фотокамери: фокусна відстань, базис зйомки, розміри кадру, а також інші технічні характеристики, необхідні для точного моделювання.
2. Блок – формується структура зальоту: кількість маршрутів, кількість кадрів у кожному маршруті, їхнє просторове положення, а також визначаються файли-носії для растрових зображень. Уся інформація про блок зберігається у службовому текстовому файлі з

розширенням \*.tbd, який надалі використовується для триангуляційних розрахунків.

3. Триангуляція – виконується внутрішнє та зовнішнє орієнтування знімків з використанням опорних точок, що дозволяє вирівняти модель у просторовій системі координат як показано на рисунку 2.7.

4. Розпізнавальні знаки – встановлюються на ключових елементах знімків для забезпечення коректного вирахування просторового положення точок.

5. BlokMSG – відбувається генерація службових повідомлень, що містять зведення про блок знімків, необхідні для подальшої обробки.

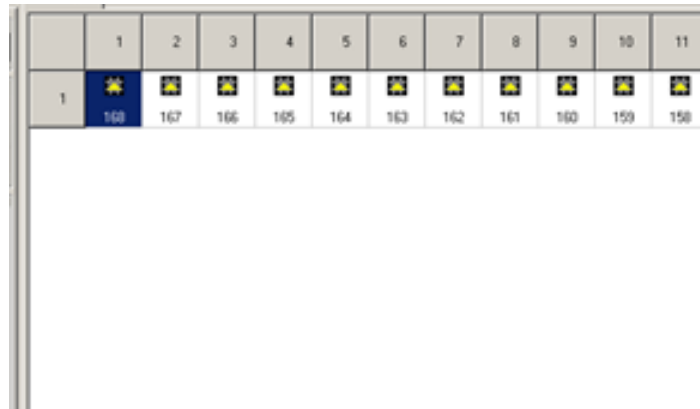


Рисунок 2.7 – Вікно програми із проектом триангуляції

Після завершення базового налаштування проекту наступним кроком є запуск блоку триангуляції. Для цього в оболонці фотограмметричної станції Delta (модуль Models.exe) натискається кнопка «Триангуляция», що відкриває спеціалізовану програму вимірювань Triada.exe.

Ця програма автоматично виконує внутрішнє орієнтування знімків, зокрема прив'язку координатних міток, що були закладені на стадії зйомки.

Першим кроком у Triada.exe є відкриття TBD-файлу – текстового опису блоку знімків, сформованого раніше. Після цього система автоматично створює пов'язаний TMF-файл (формат \*.tmf), який виступає як основний

проектний файл для збереження всіх вимірювань, орієнтувань та подальших обчислень.

З моменту створення TMF-файлу TBD-файл не використовується – усі наступні операції з проектом виконуються через TMF.

Після завантаження блоку програма автоматично відображає першу координатну мітку на першому знімку першого маршруту (див. рис. 2.8), що дає змогу одразу переходити до процедури внутрішнього орієнтування.



Рисунок 2.8 – Вікно програми, модуль Triada.exe. Початок внутрішнього орієнтування знімків – перша координатна мітка

Після запуску процесу орієнтування програма виконує автоматизовані виміри для всього блоку знімків, використовуючи метод пошуку еталонного фрагмента на основі кореляційного аналізу.

Вимірювання відбувається за допомогою коефіцієнта кореляції, який відображає ступінь збігу зразка (еталона) на обраному знімку. Значення цього коефіцієнта варіюється в діапазоні від  $-1$  до  $1$ :

- ідеальний збіг, об'єкти ідентичні;

- 0.7–0.9 – добрий збіг, допустимий для фотограмметричного аналізу;
- менше 0.7 – ймовірна помилка у розпізнаванні.

Якщо хоча б один із вимірів координатних міток має коефіцієнт менше 0.7, програма автоматично переходить до відповідного знімка, дозволяючи оператору повторно задати координатну мітку вручну. Якщо ж усі результати вимірювання відповідають або перевищують поріг 0.7, система переходить до обробки наступної мітки.

Після завершення вимірювання всіх координатних міток програма переходить до наступного етапу – вимірювання фотограмметричних точок. Перед початком з'являється діалогове вікно для вибору режиму роботи.

Ідентифікатори точок формуються автоматично за шаблоном SS-ZNN, де:

- SS – номер знімка, на якому розташована точка в центральному ряді;
- Z – зона розміщення точки;
- 0 – центральна;
- 1 – верхня;
- 2 – нижня;

NN – порядковий номер точки у відповідній зоні (00 – перша, 01 – друга тощо).

Таким чином, кожен знімок додає у блок проекту точки центрального ряду, тоді як суміжні ряди містять точки з попереднього і наступного знімків відповідно (див. рис. 2.9). Така логіка розташування забезпечує стабільність моделі при подальшому стереоаналізі та побудові цифрової моделі місцевості.

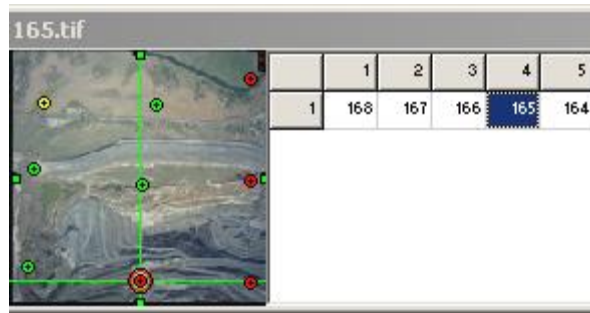


Рисунок 2.9 – Вікно програми. Взаємне розташування точок на знімку

Вимірювання точок здійснюється у порядку їхньої нумерації. При цьому оператору необхідно визначати лише точки центрального ряду кожного знімка – програмне забезпечення автоматично виконує передачу координат відповідних точок на суміжні знімки лівого та правого маршрутів, а за потреби – й на знімки з нижнього маршруту.

Для вимірювання слід обирати контрастні, чітко окреслені об'єкти, розташовані в рівних ділянках місцевості без значних викривлень або перепадів рельєфу (див. рис. 2.11). Реєстрація точки здійснюється натисканням лівої кнопки миші, після чого програма автоматично виконує пошук цієї ж точки на відповідних сусідніх знімках.

Якщо мінімальне значення коефіцієнта кореляції (серед усіх знімків, де проводилося автоматичне зіставлення точки) перевищує порогове значення 0,7, програма вважає збіг якісним і переходить до наступної точки у верхній зоні знімка. Такий підхід значно прискорює процес фотограмметричних вимірів та зменшує кількість ручних операцій, що сприяє підвищенню точності та продуктивності моделювання.

Аналізатор блоку – це інтерфейсне вікно, яке містить дві табличні області для зручного перегляду та аналізу результатів орієнтування.

У лівій таблиці під назвою «Знімки» наведено перелік усіх знімків, що входять до оброблюваного блоку. Кожен запис містить низку колонок із технічною інформацією щодо конкретного знімка. Пояснення до вмісту цих колонок подано в таблиці 2.2.

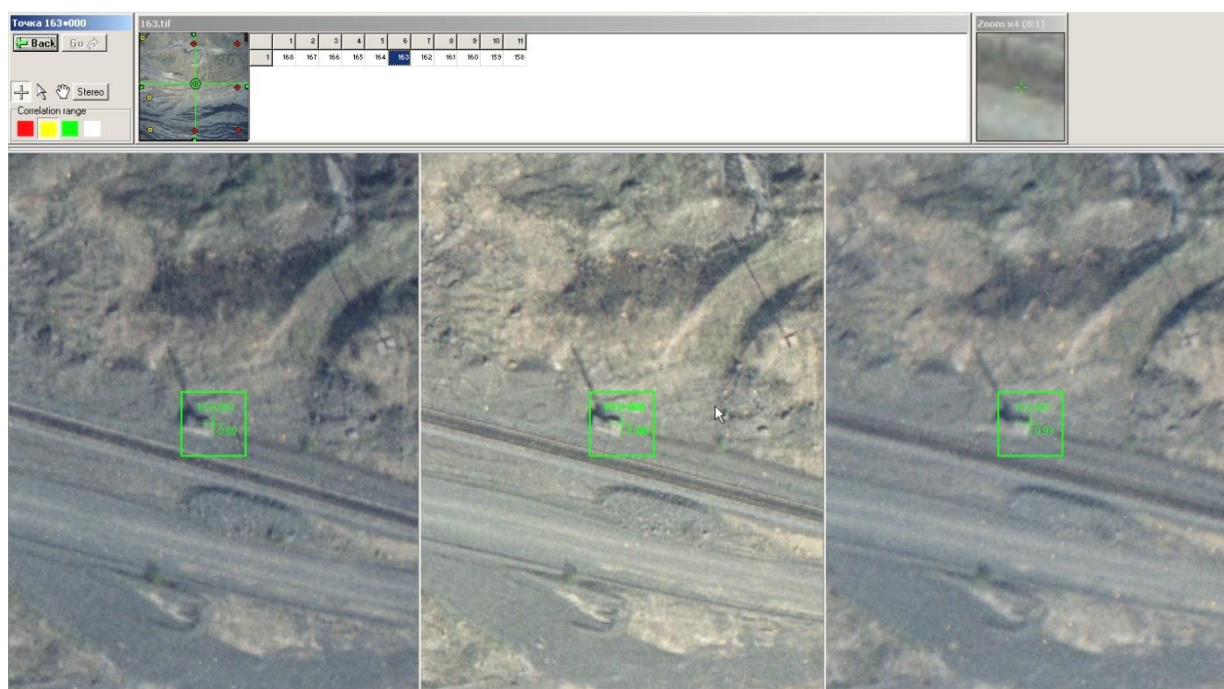


Рисунок 2.11 – Вікно програми, постановка точки

Після завершення постановки точок у блоці переходимо до його аналізу (рис. 2.12).

Знімки(11)						Точки							
Photo	Inn	Rel	Tie	K		Point	PX	PY/Rel	Tie	DX	DY	DZ	K
168	18,8	--	--	0,95		FM+1	-11,0	-5,8					0,98
167	16,3	26,5	0,104	0,94		FM+2	11,0	5,8					0,99
166	14,2	73,4	0,806	0,93		FM+3	-11,0	-5,8					0,99
165	10,6	22,5	0,189	0,93		FM+4	11,0	5,8					0,97
164	12,6	4,7	0,148	0,94		159+000		-23,0					0,70
163	13,0	17,1	0,176	0,92		159+100		11,8					0,81
162	11,5	5,2	0,007	0,96		159+200		14,0					0,86
161	9,6	3,8	0,019	0,94		158+000		20,4					1,00
160	18,5	3,8	0,106	0,94		158+100		-10,9					1,00
159	12,0	17,6	0,166	0,95		158+200		-12,1					1,00
158	12,4	16,1	--	0,93									

Рисунок 2.12 – Вікно аналізатора блоку

У правій таблиці під назвою «Точки» представлено перелік точок, які були виміряні на обраному знімку. Кожен запис характеризується низкою параметрів, розшифрування яких наведено в таблиці 2.3.

Для швидкої ідентифікації проблемних значень, найгірші показники в кожному зі стовпців виділяються темним фоном клітинок. Чим темніший колір, тим гірший результат орієнтування. Наприклад, на рис. 2.17 видно візуальне виділення для знімка №166, де окремі значення позначено темним тлом для полегшеного виявлення помилок або відхилень у результатах.

Таблиця 2.2 – Параметри знімків у таблиці аналізатора блоку

Значення	Характеристика
Photo	Номер знімка
Inn	Середньоквадратична нев'язка по координатних мітках у мікронах (внутрішнє орієнтування)
Rel	Середньоквадратичний залишковий паралакс у мікронах (взаємне орієнтування)
Tie	Середньоквадратична помилка сполучних точок у метрах (сумарний вектор по XYZ)
K	Середньоквадратичне значення коефіцієнта кореляції
Point	Номер точки
PX	Невідповідність на точці по координаті X знімка в мікронах (тільки для координатних міток)
PY	Невідповідність/залишковий паралакс по координаті Y знімка в мікронах
Tie	Помилка по зв'язку в метрах (сумарний вектор по XYZ)
DX	Помилка по зв'язку координати X у метрах
DY	Помилка по зв'язку координати Y у метрах
DZ	Помилка по зв'язку координати Z у метрах
K	Значення коефіцієнта кореляції на точці

Після того як позначку встановлено у правій таблиці, програма автоматично відображає відповідну точку на активному знімку та його суміжних зображеннях. Для її перевимірювання достатньо клацнути лівою кнопкою миші в новому місці – але лише на центральному (активному) знімку, де курсор має вигляд перехрестя. Якщо положення точки є коректним майже на всіх знімках, включаючи центральний, але на одному з них викликає

сумніви – точку можна локально скоригувати, перемістивши її із центрального знімка на проблемне зображення.

Усі вимірні точки зберігаються в TМF-файлі, який зручно експортувати до одного з доступних форматів у будь-який момент подальшої обробки.

Наступний етап – проведення контрольних обчислень із використанням програм BlokMSG.exe та Photocom.exe. У більшості фототриангуляційних програм реалізовано метод зв'язків, коли вся фотограмметрична мережа будується та вирівнюється одночасно на основі всієї сукупності знімків певного блоку.

Для кожної точки, включеної до фотограмметричної мережі, формуються два рівняння, які пов'язують координати зображення з координатами реального об'єкта на місцевості. У розрахунках також враховуються наближені значення параметрів зовнішнього орієнтування знімків. Усі рівняння зводяться до лінійної форми для спрощення обчислень.

В ході вирівнювання визначаються поправки до наближених значень – як для координат об'єктів, так і для параметрів орієнтування знімків. Загальна кількість рівнянь удвічі перевищує кількість точок-зображень у мережі. Кожна точка, зображена на трьох знімках, дає шість рівнянь, що значно підвищує точність вирівнювання.

У даному варіанті маршрутної фототриангуляції використовується математична модель на основі рівнянь колінеарності (формули 2.1 і 2.2). Вони є базовими при перетворенні координат об'єктів між системами зображення і реального простору.

$$x - x_0 = -f \frac{a_1(X - X_0) + b_1(Y - Y_0) + c_1(Z - Z_0)}{a_3(X - X_0) + b_3(Y - Y_0) + c_3(Z - Z_0)}, \quad (2.1)$$

$$y - y_0 = -f \frac{a_2(X - X_0) + b_2(Y - Y_0) + c_2(Z - Z_0)}{a_3(X - X_0) + b_3(Y - Y_0) + c_3(Z - Z_0)}, \quad (2.2)$$

де  $X, Y, Z$  – координати точки місцевості;

$x, y$  – координати точки знімка;

$X_0, Y_0, Z_0$  – координати точки фотографування;

$f$  – фокусна відстань знімка;

$x_0, y_0$  – координати головної точки знімка;

$a, b, c$  – направляючі косинуси, що залежать від кутових елементів зовнішнього орієнтування знімка  $\alpha, \omega$  і  $\kappa$ .

У загальному випадку рівняння містять дев'ять невідомих: шість елементів зовнішнього орієнтування знімка і три координати обумовленої точки місцевості. При цьому передбачається, що елементи внутрішнього орієнтування знімка відомі, а координати точки знімка обмірювані з можливо високою точністю. Якщо точка місцевості служить опорною і її положення визначене практично безпомилково, то рівняння включають тільки шість невідомих – елементи зовнішнього орієнтування знімка.

Нехай дані наближені значення невідомих. Тоді по формулам можна обчислити координати  $x$  і  $y$  точки знімка. Позначимо обчислені значення цих величин через  $x_B$  і  $y_B$ . Очевидно, що вони будуть відрізнятися від обмірюваних  $x$  та  $y$ . Позначимо виправлення до наближених значень невідомих через  $\delta X_0, \delta Y_0, \delta Z_0, \delta \alpha, \delta \omega, \delta \kappa, \delta X, \delta Y, \delta Z$ .

Припускаючи, що ми маємо надлишкові виміри, складемо рівняння виправлень (2.3) та (2.4):

$$a\delta X_0 + b\delta Y_0 + c\delta Z_0 + d\delta\alpha + e\delta\omega + f\delta\kappa + g\delta X + h\delta Y + i\delta Z + x_B - x = v, \quad (2.3)$$

$$a'\delta X_0 + b'\delta Y_0 + c'\delta Z_0 + d'\delta\alpha + e'\delta\omega + f'\delta\kappa + g'\delta X + h'\delta Y + i'\delta Z + y_B - y = v'. \quad (2.4)$$

Вирішення отриманої надалі системи нормальних рівнянь виконується методом ітерацій [29].

Програма BlokMSG (Photocom) виконує ключову роль у фотограмметричній обробці – вона приймає та аналізує вхідні дані, а також забезпечує комплексну підготовку результатів для подальшої роботи. Основні функціональні можливості програми охоплюють:

- аналіз вихідних фотограмметричних даних;

- вибір оптимальної геодезичної проекції для обробки (поперечно-циліндрична, конічна або стереографічна) та задання координатної системи блоку у прямокутних просторових координатах;
- побудову маршрутних мереж фототриангуляції на основі наявних знімків;
- об'єднання окремих маршрутних мереж у єдиний фотограмметричний блок і його математичне вирівнювання;
- формування каталогів вирівняних координат опорних і зв'язуючих точок, а також визначення зовнішніх параметрів орієнтування знімків і стереопар у вибраній геодезичній проекції;
- створення службових файлів і передача керування до програми Triada для подальших операцій [11].

У Додатку В представлено фрагмент із орієнтованими знімками кар'єру, що слугує візуальним підтвердженням коректності виконаного орієнтування.

Після успішного завершення орієнтації знімків користувач може перейти до наступного етапу – набору характерних точок місцевості. Для цього в системі ЦФС Дельта передбачено інструментарій, який дозволяє з високою точністю здійснювати векторизацію потрібних об'єктів (рис. 2.13).

Отримані результати формують основу для створення цифрових моделей рельєфу та розрахунків у геоінформаційному середовищі.

При аерофотозйомці, результати якої були використані для моделювання, на дні кар'єру не вдалося отримати дані необхідної точності, тому для найглибшої частини було застосовано зйомку за допомогою супутникових систем позиціонування GPS.



Рисунок 2.13 – ЦФС Дельта

На рис. 2.14 представлена стереопара.

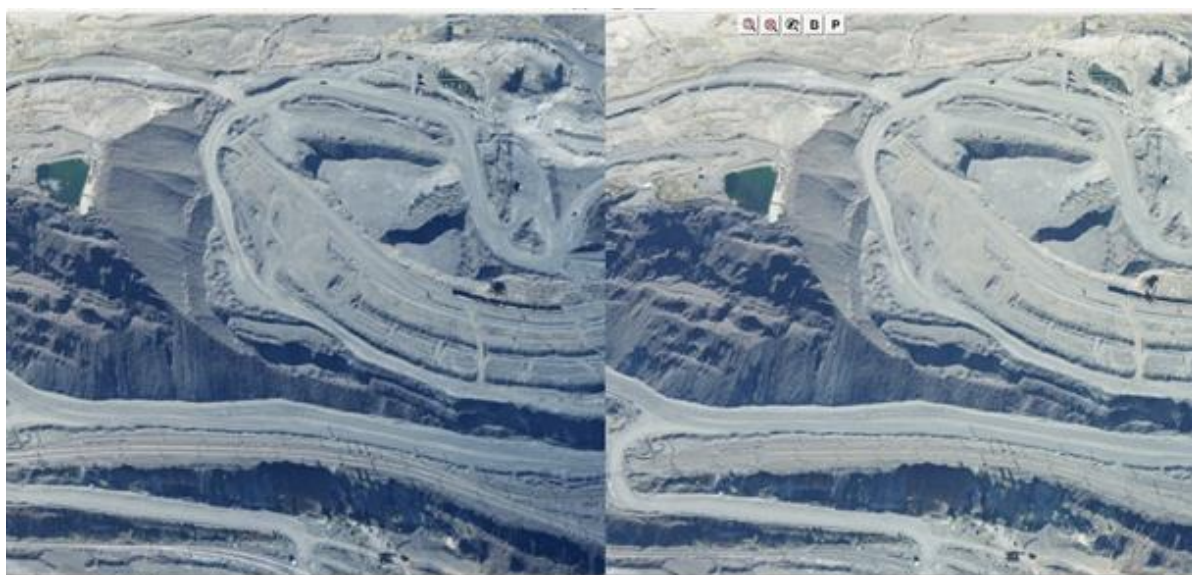


Рисунок 2.14 – Приклад стереопари у вікні програми, по якій здійснювався набір точок

На рисунку 2.15 подано набір точок у двовимірному та тривимірному представленні у програмі Digital. Кількість точок – 293487.

Для подальшої роботи в ArcGIS вони були конвертовані у формат \*.shp.

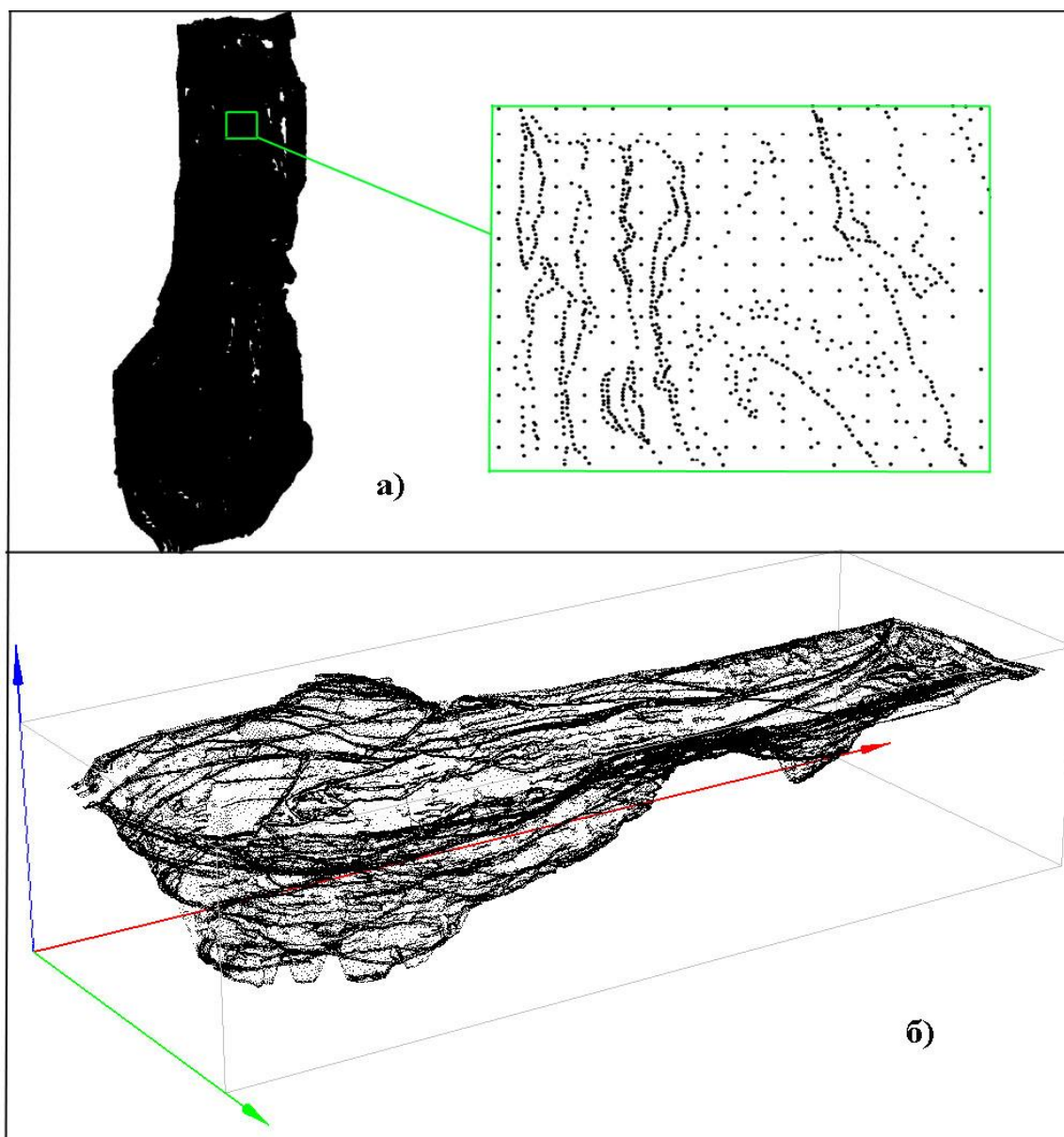


Рисунок 2.15 – Набір точок у програмі Digital: а) двовимірне представлення, б) тривимірне представлення

#### 2.4 Технологія моделювання кар'єру

У сучасних умовах проєктування та управління гірничодобувними об'єктами потребує не лише точних просторових даних, а й ефективної технології створення цифрових моделей, які можуть бути використані в різних аналітичних сценаріях [12]. Оптимізація процесів геоінформаційного моделювання полягає в розробці раціональних підходів до збору, обробки,

структурування та інтеграції даних у рамках єдиного інформаційного середовища.

Ключовими складовими ефективною технології моделювання кар'єру є:

- використання актуальних та детальних вхідних просторових даних (аерофотознімки, супутникові зображення, геодезичні вимірювання);
- побудова цифрової моделі рельєфу (ЦМР) із врахуванням фактичної структури і конфігурації кар'єру;
- створення єдиної геоінформаційної моделі об'єкта, яка підтримує інтеграцію з іншими інженерними та аналітичними платформами;
- формування тематичних шарів для подальших розрахунків – зокрема, визначення об'ємів видобутку гірської маси, моделювання відвалів, аналіз транспортної логістики тощо.

Особливу увагу приділяється вибору формату геоданих та їх структурі, оскільки від цього залежить сумісність з програмними середовищами (такими як ArcGIS, QGIS, Digitals) та якість подальшого аналізу.

На рис. 2.16 схематично зображено послідовність технологічного процесу моделювання кар'єру, яка була реалізована в межах цього проєкту.



Рисунок 2.16 – Технологія просторового моделювання кар'єру

Вона включає всі ключові етапи – від оцифровки вихідної інформації до побудови фінальної цифрової моделі з можливістю виконання просторового аналізу.

## 2.5 Реалізація моделі

Створення бази геоданих. База геоданих (географічна база даних, spatial database) – це структура для організації, зберігання, керування та аналізу просторової інформації, що дозволяє ефективно працювати з географічними об'єктами та їх атрибутами в єдиному інформаційному середовищі. Вона підтримує зберігання як геометричних (точки, лінії, полігони, растри), так і атрибутивних даних, а також забезпечує інструменти для просторового аналізу, редагування, візуалізації та запитів.

Для створення бази геоданих у програмному середовищі ArcGIS використовують компонент ArcCatalog, який призначений для організації і управління геоданими.

Алгоритм створення бази геоданих:

1. Запустіть ArcCatalog.
2. У дереві каталогів зліва оберіть локальну директорию або робочу теку проекту.
3. Натисніть праву кнопку миші у вибраній директорії.
4. У контекстному меню оберіть New → File Geodatabase.
5. Введіть назву нової бази геоданих.

Після створення структури бази, до неї можна додавати:

- Feature classes – для зберігання геометричних об'єктів (кар'єри, шари рельєфу, межі тощо),
- Tables – для атрибутивної інформації (характеристики блоків, об'єми видобутку),
- Rasters – супутникові знімки, ортофотоплани,
- Topology, domains, relationships – для підтримки цілісності даних і їх зв'язків.

Процес наповнення бази геоданих даними – це один із ключових етапів створення моделі кар'єру. На рис. 2.17 представлено приклад структури та наповнення геобазы для задач гірничого моделювання.

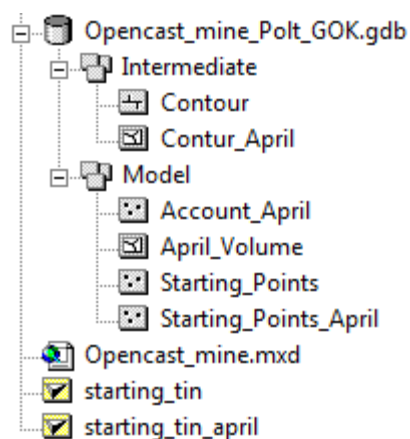


Рисунок 2.17 – Дерево бази геоданих в ArcCatalog

Формування просторових моделей та створення TIN. На рисунку 2.17 представлено структуру даних, яка використовується в процесі моделювання.

У наборі даних Model зберігаються основні геопросторові шари, включаючи дані про рельєф на початок і кінець звітнього періоду, а також шар з обчисленими об'ємами видобутої гірської маси. Набір Intermediate містить допоміжну інформацію, що використовується на проміжних етапах обробки. Окремо, поза межами бази геоданих (БГД), зберігаються побудовані TIN-моделі, які створюються з урахуванням поточних завдань.

Після завершення структурування та наповнення БГД необхідними шарами переходимо до середовища ArcMap для формування цифрової моделі рельєфу.

Процес моделювання включає такі етапи:

- Додавання до документа ArcMap шару з пікетами, що представляють рельєф кар'єру. У нашому випадку це шар Starting\_Points (рис. 2.18), атрибутивна таблиця якого містить координати, висоти та семантичні коди точок.
- Використовуючи інструмент 3D Analyst → Create TIN from Features, створюється триангуляційна поверхня (TIN) на основі вхідних даних. Створеній моделі присвоюється назва Starting\_TIN (рис. 2.19).

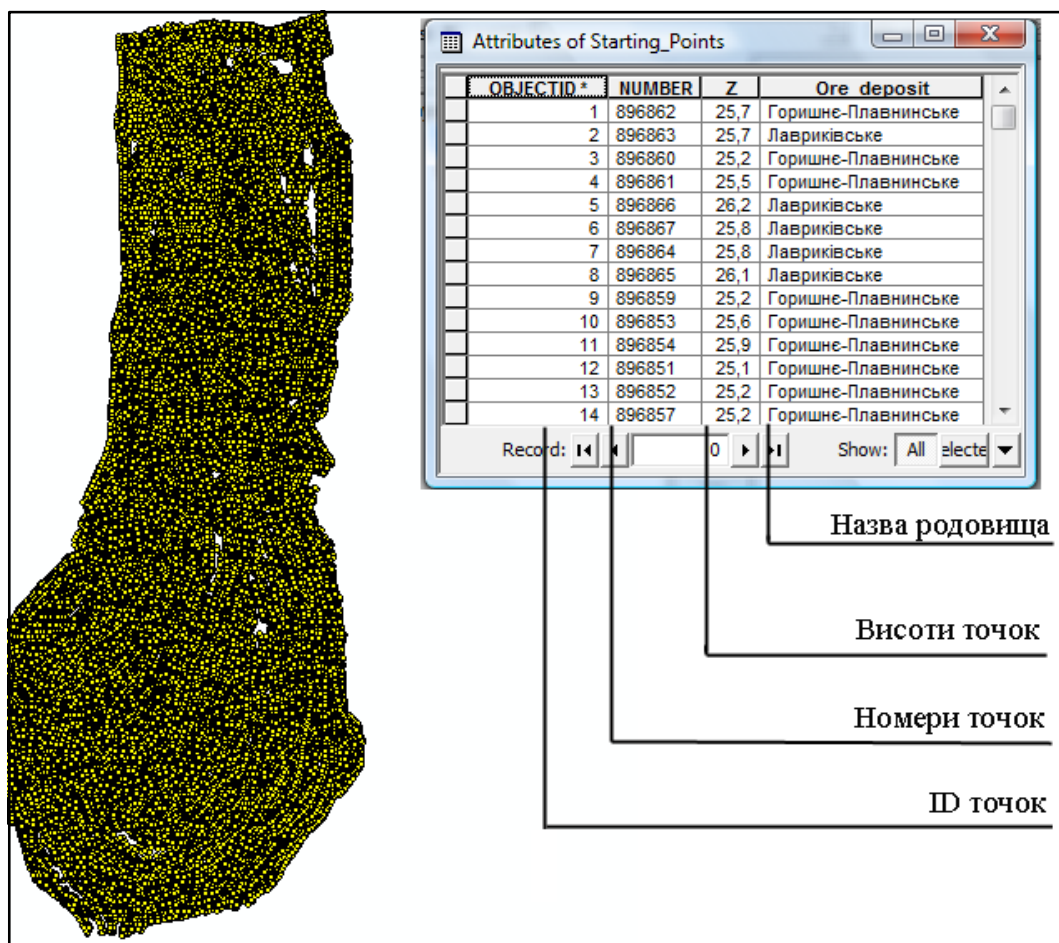


Рисунок 2.18 – Шар із набором точок кар'єру «Starting\_Points» та його атрибути

Програмне середовище ArcGIS забезпечує зручну візуалізацію просторових даних, дозволяє керувати відображенням, точністю, кольоровою палітрою та освітленням сцени. Отриману тривимірну модель кар'єру (див. Додаток Г) надалі можна використовувати для вирішення інженерно-технічних завдань, зокрема – автоматизованого розрахунку об'ємів видобутої гірської породи.

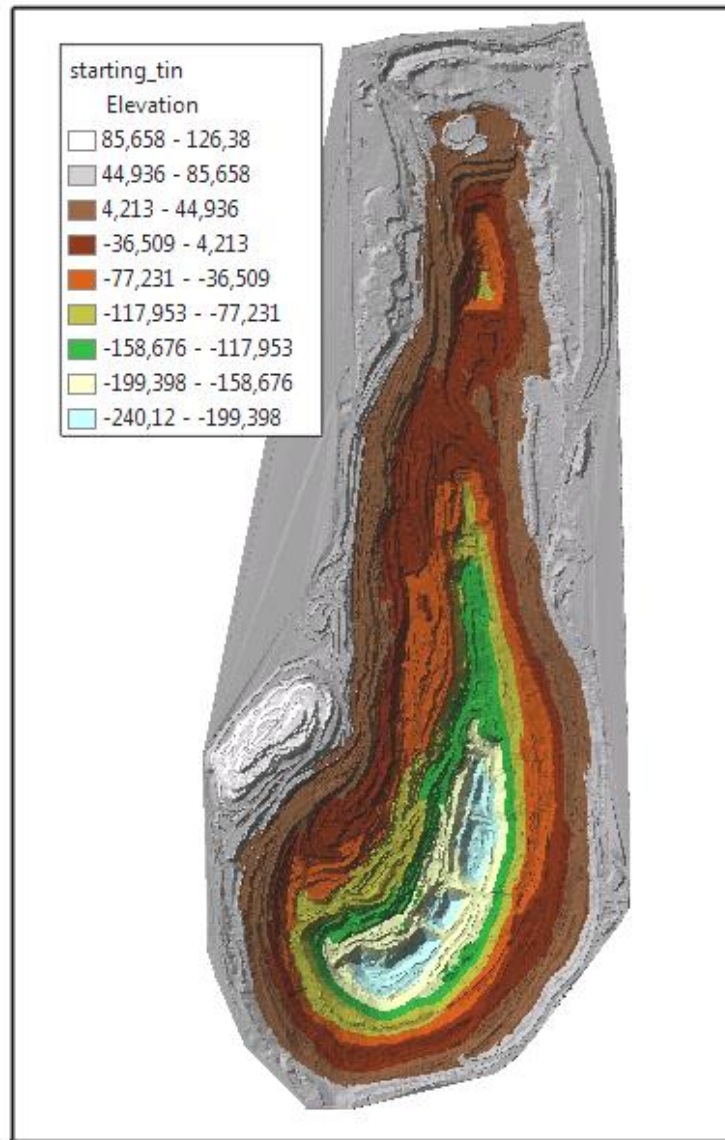


Рисунок 2.19 – TIN, що створена на територію кар'єру

### Висновки по розділу

Отже, в цьому розділі було розглянуто основні відомості про кар'єр, обрано програмну платформу та спосіб реалізації. Вихідними даними були аерофотознімки, за допомогою програмного забезпечення Delta/Digitals на ЦФС Дельта було виконано їх обробку, отримані пікети конвертовано в ArcGIS та експортовані у створену БГД. На основі розробленої технології моделювання було створено просторову модель кар'єру.

## РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 3.1 Перелік завдань, що можуть бути вирішені за допомогою цифрової моделі кар'єру

Застосування цифрової просторової моделі кар'єру, створеної в середовищі ArcGIS, відкриває можливості для вирішення широкого спектру прикладних та інженерних завдань у сфері гірничої справи. До ключових функціональних напрямів використання моделі належать:

- Камеральна обробка результатів польових вимірювань з інтеграцією нових даних у просторову модель;
- Оновлення та редагування моделі кар'єру з урахуванням актуальної інформації: створення уступів, додавання ліній бурових свердловин, транспортної інфраструктури (дороги, залізниці), комунікацій (ЛЕП, трубопроводи тощо);
- Автоматизований розрахунок об'ємів видобутої гірської маси, а також інших кількісних і якісних показників просторових змін;
- Побудова топографічних профілів, перетинів, поверхонь і візуалізація рельєфу;
- Створення та ведення бази геоданих, її структуризація, зберігання і регулярне оновлення;
- Формування звітної документації за шаблонами, налаштованими в середовищі ArcGIS;
- Інтеграція з іншими етапами проектування в рамках єдиного інформаційного простору підприємства;
- Багатокористувацька робота з даними, реалізація корпоративної геоінформаційної системи на підприємстві;

- Багатоваріантне проектування та планування, аналітичне моделювання та прогнозування розвитку гірничих робіт із підвищеною точністю;
- Геостатистичний аналіз на всіх етапах планування та моніторингу;
- Автоматизація диспетчерського управління гірничими роботами на основі актуальних просторових даних.

Ці можливості роблять цифрову модель кар'єру потужним інструментом для прийняття обґрунтованих рішень, підвищення ефективності виробничих процесів та забезпечення високого рівня достовірності отриманих результатів.

У якості прикладу, у подальших підрозділах буде розглянуто задачу розрахунку об'ємів вийнятої гірської породи з використанням побудованої моделі.

### 3.2 Розрахунок об'ємів вироблення

Теоретичні основи визначення об'ємів виїмки гірської породи. Для визначення об'ємів добутої гірської маси необхідно порівняти рельєфні відмітки до початку гірничих робіт із відмітками, зафіксованими після завершення чергового етапу виїмки. Вихідні (базові) відмітки поверхні, які ще називають «чорними», фіксують фактичний стан місцевості до початку розробки, або ж залишаються як результат попереднього етапу виїмки. Ці дані зазвичай отримуються в результаті топографічної або аерофотозйомки.

Традиційно обсяги розроблених порід визначаються методами геометричного аналізу, серед яких найпоширенішими є:

- метод вертикальних перетинів;
- метод горизонтальних перетинів;
- метод тригранних призм;
- метод об'ємної сітки (палетки).

Кожен із методів має свою специфіку застосування, що залежить від конфігурації кар'єру, типу гірських порід і точності вихідних даних.

При ручних розрахунках, наприклад, метод середнього арифметичного дозволяє швидко визначити об'єм на основі середніх висот у межах замкненого полігону, побудованого на сітці вимірювань. Аналогічно, метод горизонтальних перетинів передбачає розбиття тіла виїмки на шари за заданими горизонтальними інтервалами з наступним обчисленням об'ємів між ізолініями.

У сучасних умовах ці методи значною мірою автоматизовані в програмному середовищі ГІС, зокрема в ArcGIS або QGIS, де об'єми розраховуються на основі порівняння двох цифрових моделей рельєфу (до і після розробки), а також із використанням TIN-моделей та інструментів просторового аналізу. У наступних розділах буде представлено практичну реалізацію даної методики та отримані результати.

Об'єми гірських порід способом середнього арифметичного та горизонтальних перетинів розраховуються за (3.1):

$$V = \frac{S_H - S_B}{2} h_{cp}, \quad (3.1)$$

де  $V$  – об'єм екскаваторного заходу,  $m^3$ ;

$S_H, S_B$  – площі перетину по нижнім та верхнім бровкам відповідно,  $m^2$ ;

$h_{cp}$  – середня висота заходу,  $m$ .

Об'єми гірських порід розраховуються способом вертикальних перетинів за (3.2):

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} a_1 + \frac{S_2 + S_3}{2} a_2 + \dots + \frac{S_{n-1} + S_n}{2} a_{n-1}, \quad (3.2)$$

де  $S_1, S_2$  – площі перетинів у межах виїнятого заходу,  $m^2$ ;

$S_2, S_3, \dots, S_{n-1}$  – площі проміжних перетинів,  $m^2$ ;

$a_2, a_3, \dots, a_{n-1}$  – відстані між перетинами, м.

Спосіб об'ємної палетки застосовується, якщо об'єми вийнятої гірської породи зображені в плані в проекції, а також якщо контури заходу неправильно складної форми. Розрахунки проводяться за (3.3) або (3.4).

$$V = S \left( \sum_{i=1}^n h_i - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m h'_j \right), \quad (3.3)$$

де  $S$  – площа прямокутника палетки, м<sup>2</sup>;

$\sum_{i=1}^n h_i$  – сума висот вийнятого шару у вершинах палетки, що потрапляють всередину контуру та на контур виїмки, м.

$\sum_{j=1}^m h'_j$  – сума висот вийнятого шару у вершинах палетки, що потрапляють на контур виїмки або розташованих від нього на відстані менше половини сторони прямокутника палетки.

$$V = S \sum_{i=1}^n h_i, \quad (3.4)$$

де  $S$  – площа прямокутника палетки, м<sup>2</sup>;

$n$  – число прямокутників у межах контура, що підраховується;

$h_i$  – висота шару вийнятих порід у кожній вершині прямокутника, м [5].

У разі використання комп'ютерних програм для вирішення цієї задачі у багатьох випадках, на основі даних зйомки, фігура, що характеризує вийняті породи, автоматично розбивається на прості геометричні фігури (найчастіше – прямокутні ділянки – паралелепіпеди), в кожній з яких визначається об'єм заповнений породою та порожній. Об'єм всього вироблення дорівнює сумі заповнених породою об'ємів у кожній ділянці (рис. 3.1) [13].

Обчислення відбувається за формулою Сімпсона:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \int_a^b p_2(x)dx = \frac{b-a}{6} \left( f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right), \quad (3.5)$$

де  $f(a)$ ,  $f(b)$  – значення функції на початку та в кінці відрізка;

$f\left(\frac{a+b}{2}\right)$  – значення функції в середині відрізка.

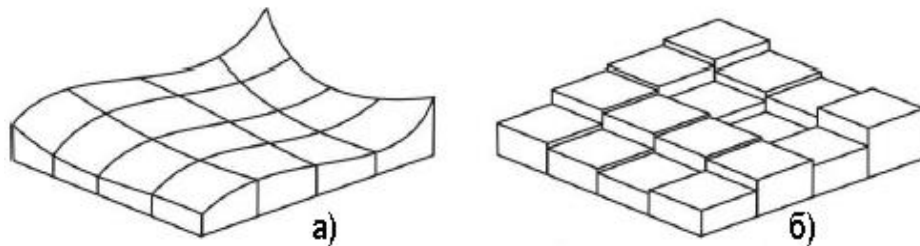


Рисунок 3.1 – Ілюстрація принципу розбиття вийнятих гірських порід на прямокутні ділянки для обчислення об'єму: а) поверхня обчислюваної ділянки; б) заміна поверхні простими геометричними фігурами.

Обчислення за формулою Сімпсона пов'язане із апроксимацією функції  $f(x)$  квадратним поліномом  $P(x)$  (рис. 3.2).

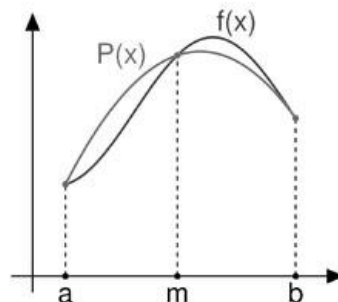


Рисунок 3.2 – Ілюстрація сутності методу обчислення за формулою Сімпсона.

Розрахунок об'ємів видобутку гірської породи. Розрахунок об'ємів видобутку виконується шляхом поетапної обробки просторових даних,

отриманих під час польових вимірювань у різні періоди часу. Один з найбільш ефективних способів фіксації змін у часі – створення часових рядів просторових даних, де кожен часовий зріз моделі (наприклад, ситуація на певну дату) розміщується на окремому шарі геоінформаційної системи. У межах такого шару дані вважаються умовно статичними, що дозволяє ефективно виконувати просторовий та об’ємний аналіз [6].

У сучасних програмних середовищах, таких як ArcGIS, розрахунок об’ємів земляних робіт (у тому числі кар’єрного вироблення) здійснюється на основі порівняння двох цифрових моделей рельєфу (ЦМР):

- базової поверхні, яка описує стан території до початку гірничих робіт;
- проектної (або фактичної) поверхні, яка відображає ситуацію після видобутку.

На основі цих двох поверхонь програмне забезпечення виконує обчислення різниці об’ємів між ними, що дає змогу точно визначити кількість видобутої породи.

Для автоматизації цього процесу було розроблено програмний модуль у середовищі ArcGIS by ESRI, реалізований за допомогою Visual Basic for Applications (VBA). Цей модуль працює з 3D-моделлю кар’єру, генерує необхідні обчислення, зберігає результати та формує звітну документацію.

На рис. 3.3 зображено інтерфейс середовища ArcGIS, у якому реалізується повний цикл робіт з розрахунку об’ємів: від завантаження цифрових моделей до формування фінального результату.

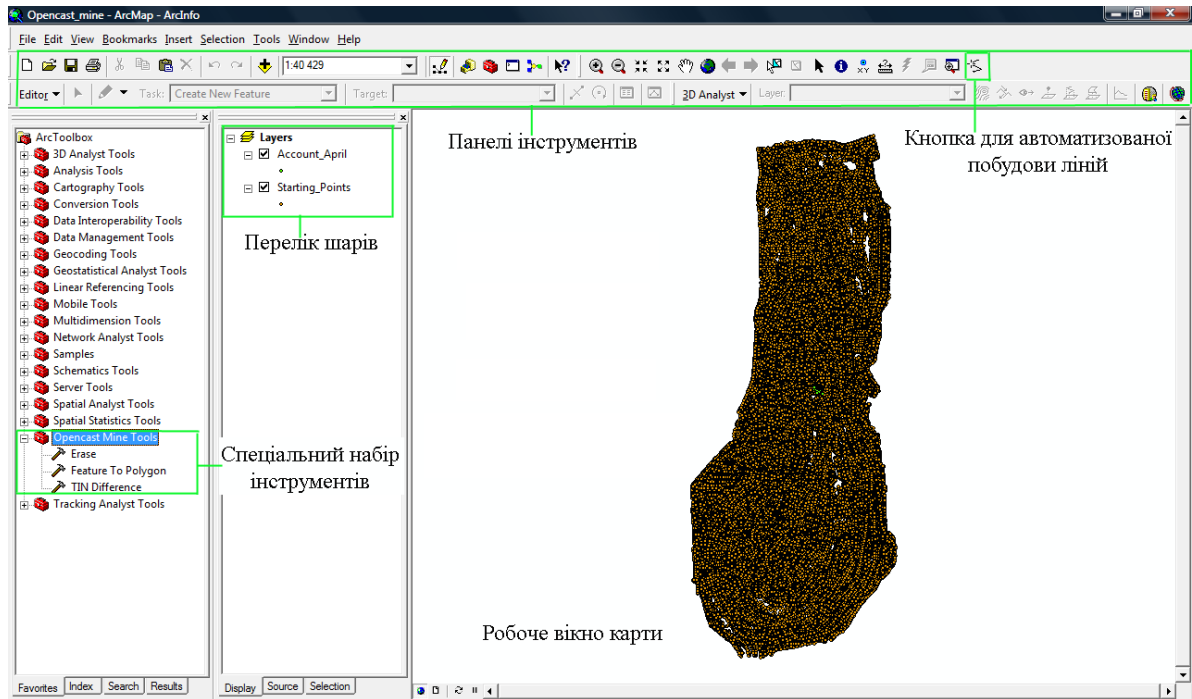


Рисунок 3.3 – Робоче вікно ArcGIS

З метою підвищення точності розрахунків та зручності роботи з цифровими моделями у середовищі ArcGIS, було реалізовано допоміжний програмний скрипт, який автоматично формує лінійні об'єкти за наявними точковими даними. Такий підхід є критично важливим, оскільки для побудови TIN-моделі (Triangulated Irregular Network), що використовується для обчислення об'ємів, обов'язковою є наявність чітко окреслених меж. За відсутності замкненого контуру побудована TIN-поверхня може містити суттєві викривлення, що спричиняють похибки у фінальних результатах обчислень.

На рисунку 3.4 продемонстровано форму інтерфейсу та логіку роботи створеної програми.

Лістинг програми у послідовності, що описана на схемі рис. 3.4 наведена у додатку Д.

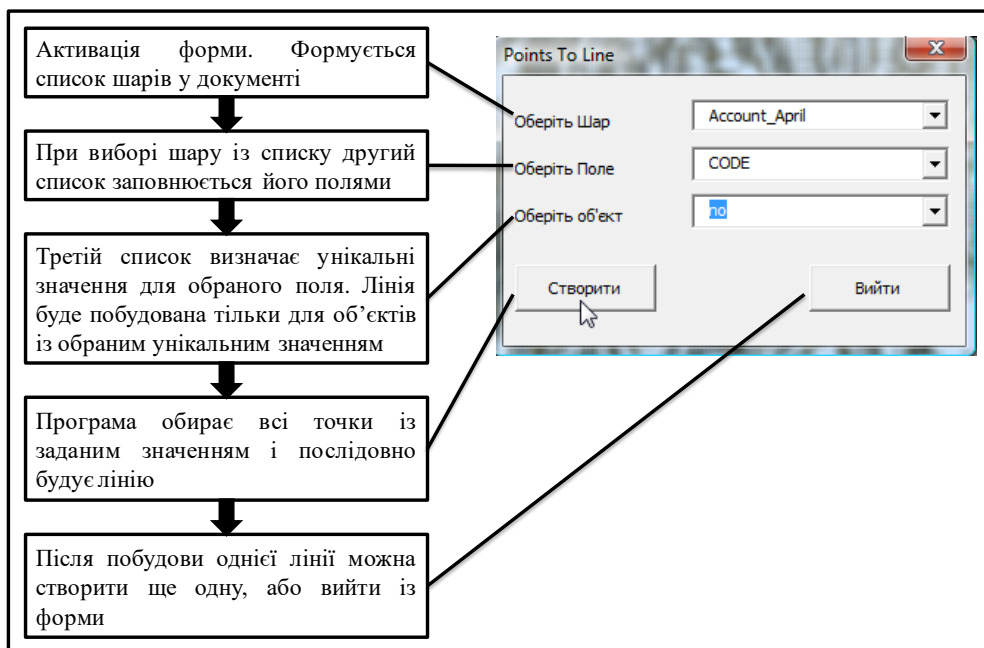


Рисунок 3.4 – Ілюстрація роботи програми та загальний вигляд форми

### 3.3 Апробація створеної прикладної програми

На рисунку 3.5 представлено розташування ділянки робіт для апробації прикладної програми.

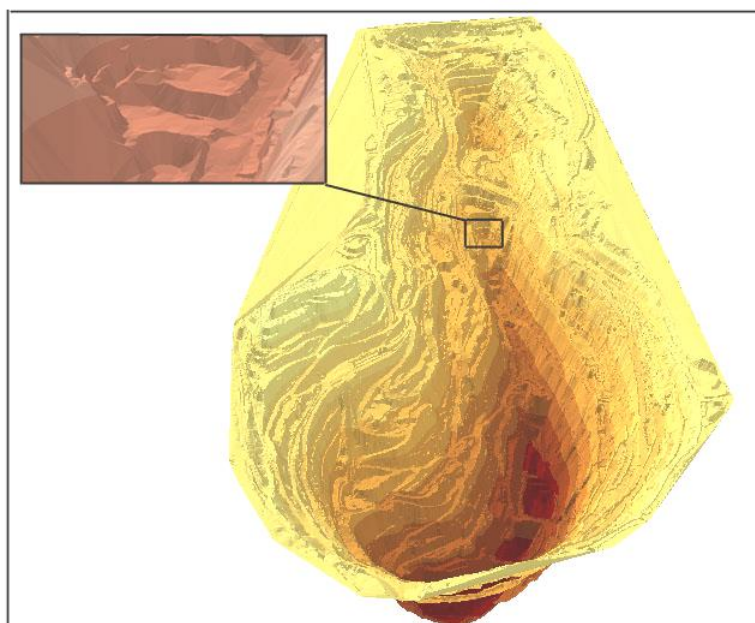


Рисунок 3.5 – Фрагмент просторової моделі кар'єру для виконання розрахунків

На рисунку 3.6 подано приклад ділянки у точковому форматі, що представлений у вигляді шару під назвою «Account\_April», разом із його атрибутивною таблицею. У таблиці зберігаються:

- ID об'єктів,
- номери точок,
- висотні позначки (Z),
- поле «CODE», що ідентифікує тип рельєфної точки:
  - VO – верх укосу (верхня межа уступу),
  - NO – низ укосу (нижня межа уступу),
  - REL – характерна точка рельєфу.

Ця атрибутивна інформація використовується для правильного класифікування точок і формування відповідних лінійних об'єктів, на основі яких створюється перша версія моделі рельєфу (модель №1) – стан місцевості до виробки.

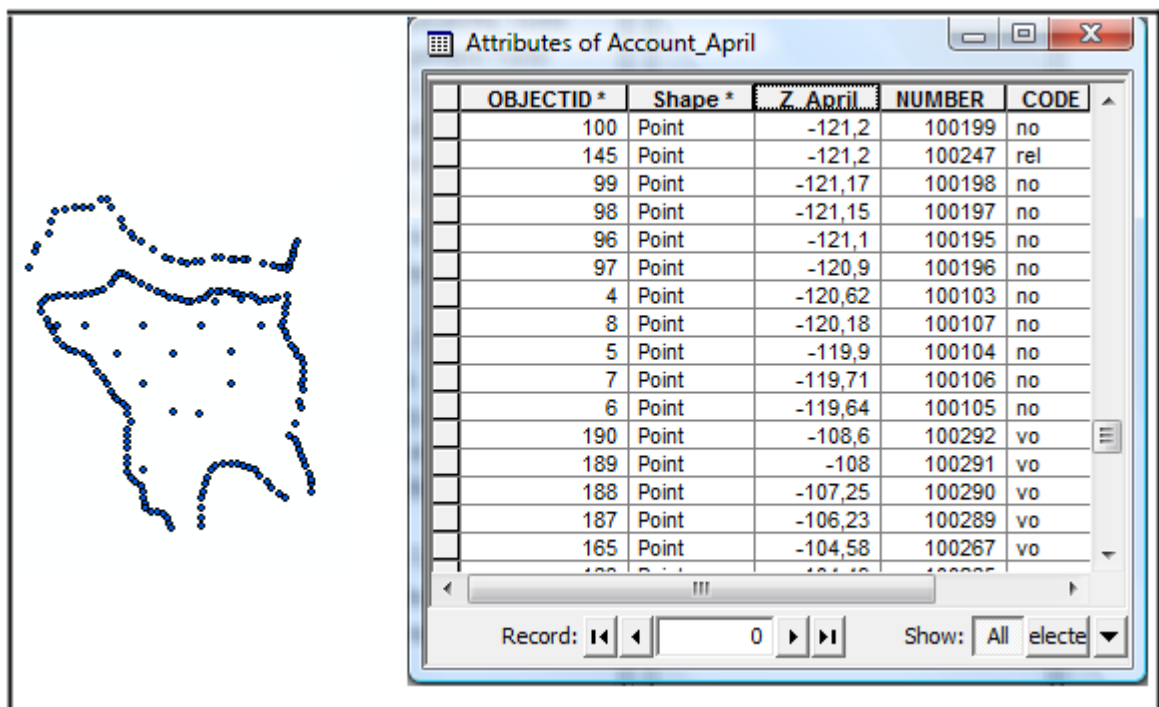


Рисунок 3.6 – Ілюстрація вигляду та таблиці атрибуту шару із змінами за звітний період

Після завершення певного циклу гірничих робіт виконується оновлене топографічне знімання, дані з якого формують новий шар точок, що фіксує зміни рельєфу. Цей шар використовується для:

- оновлення початкової моделі рельєфу (отримання моделі №2),
- розрахунку об'єму видобутої гірської маси шляхом порівняння моделей до та після видобування (рис. 3.6).

Методологія автоматизованого обчислення об'ємів видобутку та оновлення моделі кар'єру реалізована у вигляді схеми, зображеної на рис. 3.7.

У рамках цієї схеми передбачено два незалежних напрями роботи:

1. Безпосередній розрахунок об'ємів на основі різниці між TIN-моделями;
2. Оновлення моделі рельєфу для подальшого використання в моніторингу чи прогнозуванні.

Повна блок-схема процесу реалізована у середовищі ModelBuilder (ArcGIS) та представлена в додатку Е.

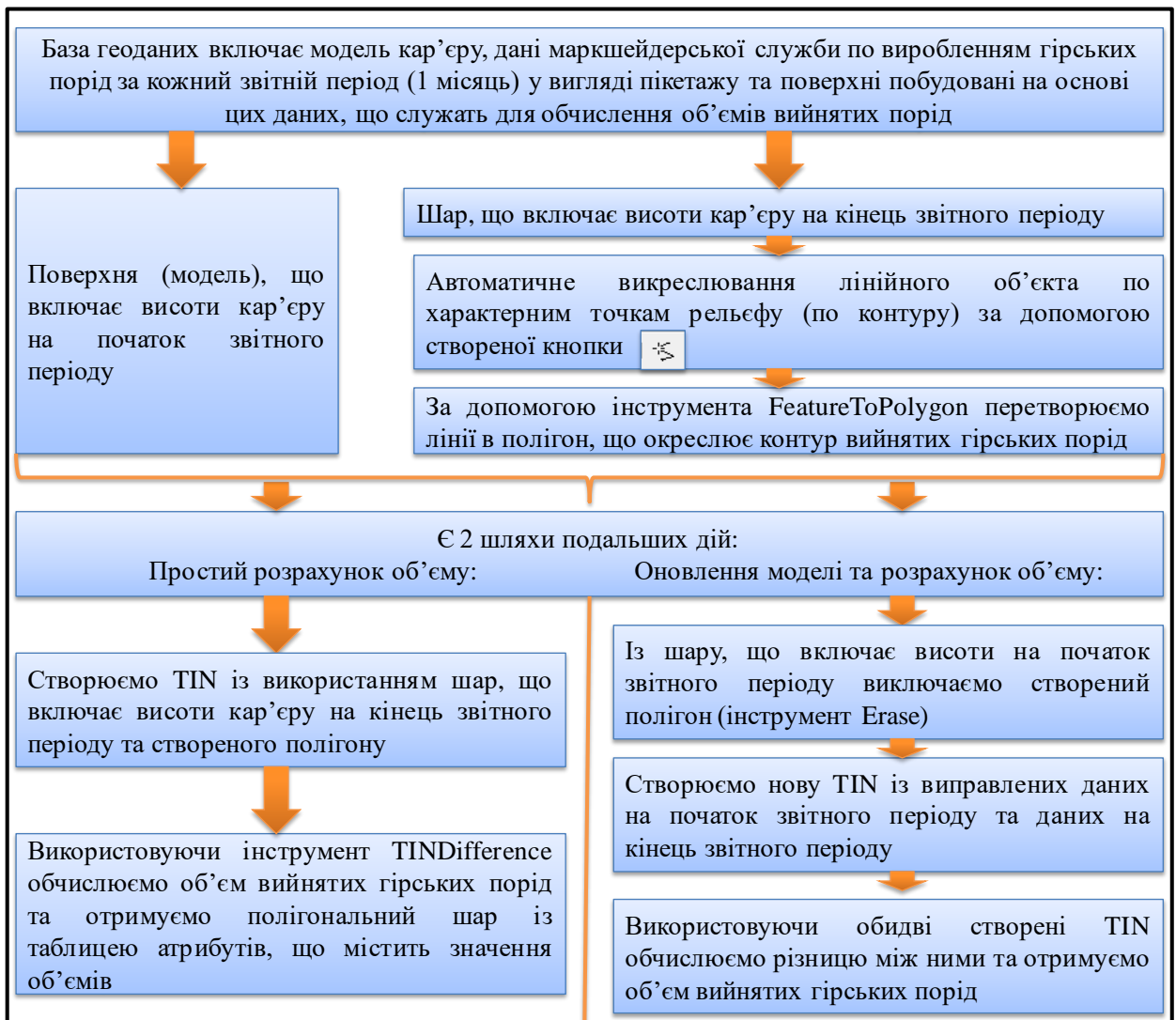


Рисунок 3.7 – Методика розрахунку об'єму вийнятих гірських порід та оновлення моделі після звітного періоду

Також існує шлях простого розрахунку об'ємів (у додатку Ж представлена модель цього процесу, виконана за допомогою ModelBuilder).

Нижче, на рисунку 3.8, проілюстровано простий розрахунок об'єму без оновлення моделі у покроковому предсталенні.

Точки → Автоматична побудова ліній → Побудова полігону → Створення TIN → Розрахунок об'єму.

TIN-модель (Triangulated Irregular Network) будується на основі векторних контурів, утворених із точок з атрибутивними висотними значеннями. Побудована модель дозволяє виконати розрахунок об'ємів між

двома поверхнями: початковою (модель №1) та оновленою після видобутку (модель №2).

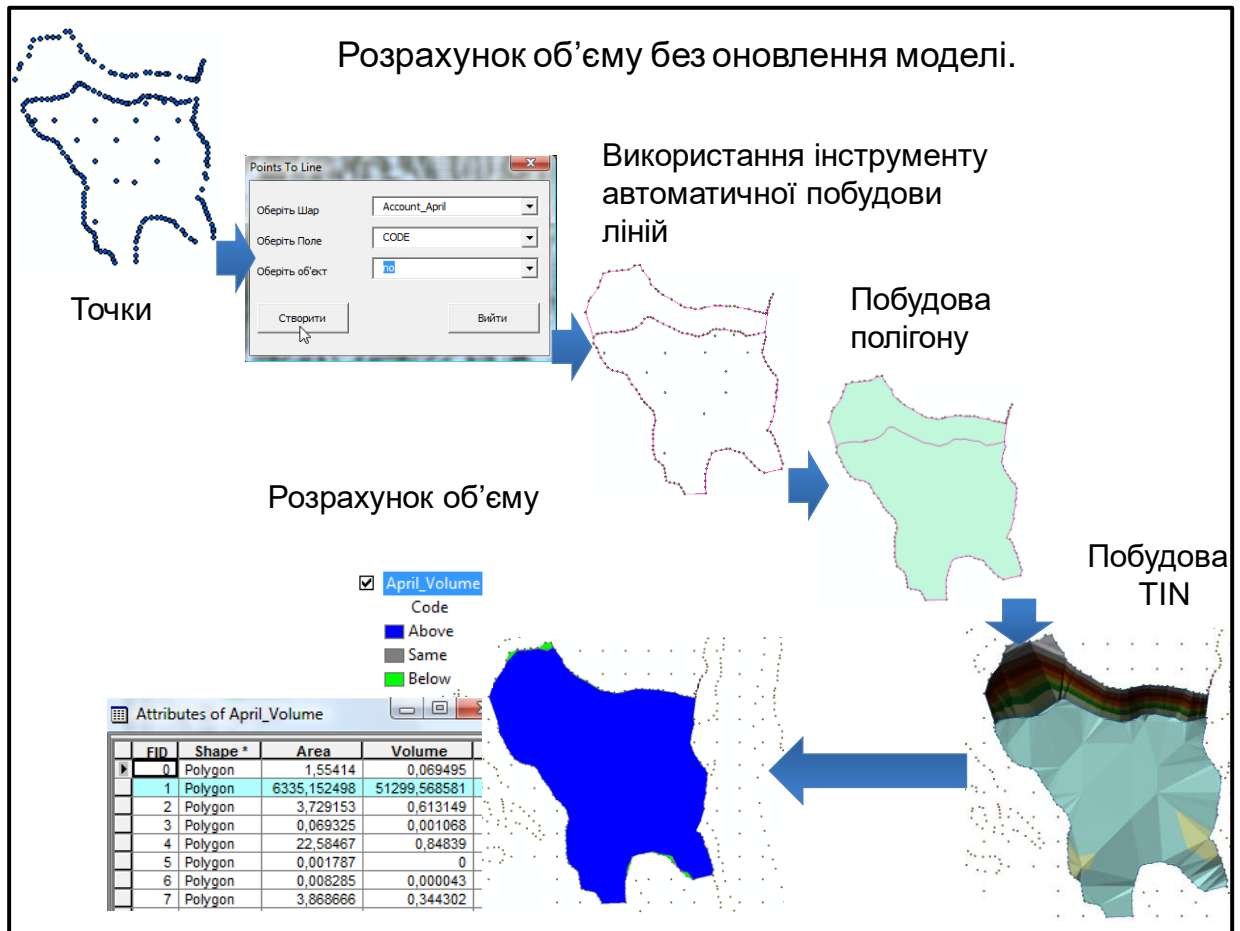


Рисунок 3.8 – Ілюстрація послідовності розрахунку об'єму у покроковому порядку

Результати розрахунків фіксуються у вигляді окремого шару, в атрибутивній таблиці якого містяться обчислені значення об'єму, а також інформація про характер змін:

- позитивне значення – поверхня знизилася (видобуто гірську масу),
- нульове значення – без змін,
- від'ємне значення – накопичення маси або підсипка.

Графічна схема перетворення моделі №1 у модель №2, включаючи імпорт нових пікетів та оновлення меж вироблення, наведена на рисунку 3.9.

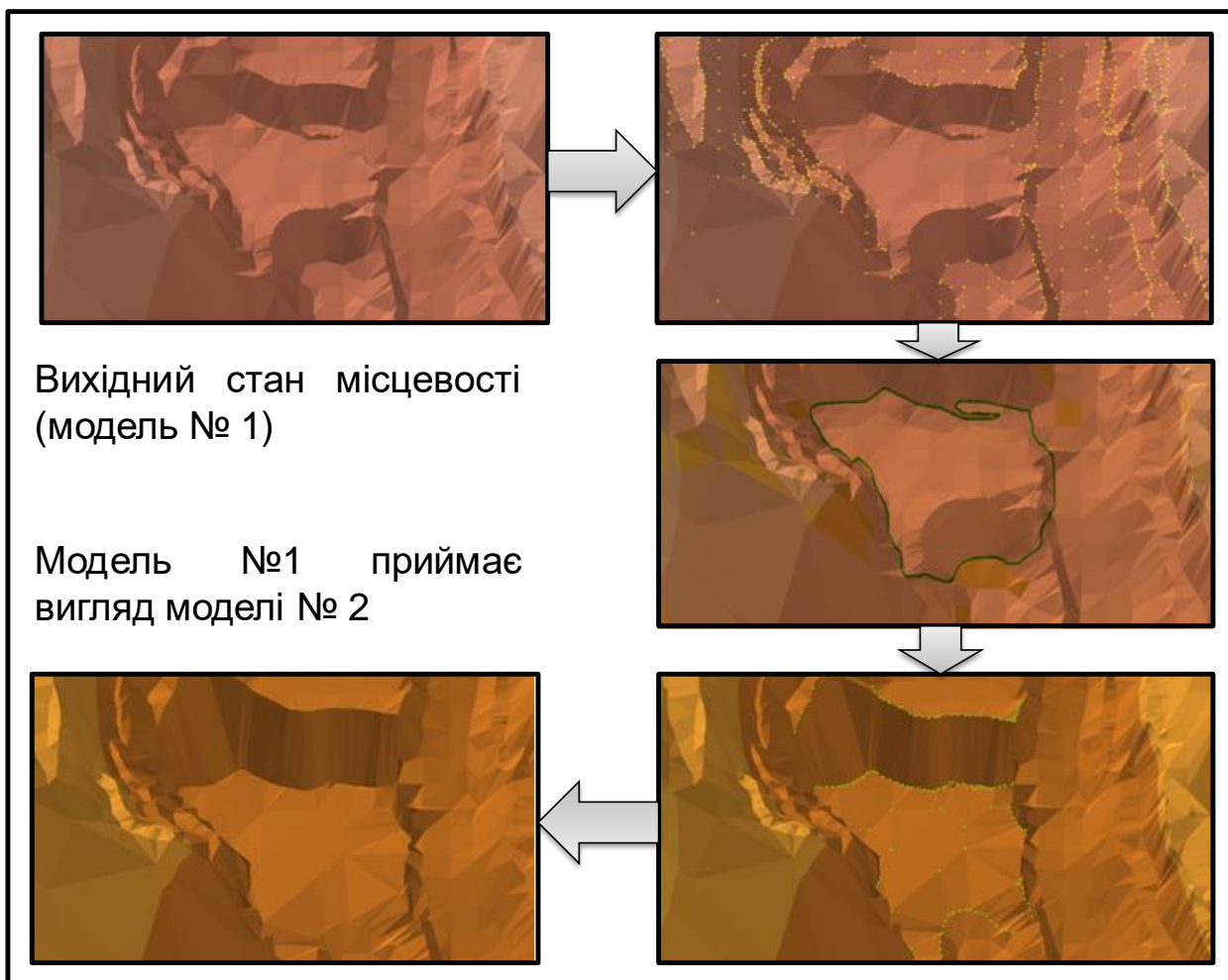


Рисунок 3.9 – Ілюстрація оновлення просторової моделі даними GPS

### 3.4 Верифікація розрахунків в альтернативному програмному середовищі

Для перевірки точності розрахунку об'єму, виконаного в середовищі ArcGIS, проведено повторне моделювання у QGIS – альтернативному програмному забезпеченні з відкритим вихідним кодом. У ArcGIS обсяг видобутої гірської маси на зазначеній ділянці становив 51 300 м<sup>3</sup>. Допустиме розходження результатів при перерахунку в іншому ПЗ не повинно перевищувати 10%, що відповідає загальноприйнятим нормам інженерної точності.

Принцип розрахунку об'ємів у QGIS:

1. Створюється матриця висот (DEM) на основі шару точок, що містять атрибут «абсолютна висота» (в умовній чи Балтійській системі висот).
2. Аналогічна DEM генерується для оновленого шару (після видобутку).
3. Для обох моделей обчислюється загальний об'єм відносно умовної базової поверхні (наприклад, 0 м).
4. Різниця між об'ємами початкової та фінальної моделей становить шукану величину видобутку.

Особливістю методу є те, що розрахунок виконується по окремих DEM, без прямого порівняння між ними. Тому навіть незначне розходження в межах аналізу (площа полігонів) може суттєво вплинути на точність фінального результату.

На рис. 3.10 та 3.11 наведено побудовані об'ємні моделі початкової та кінцевої поверхонь у QGIS.

Якщо потрібно – можу також:

- оформити порівняльну таблицю результатів ArcGIS/QGIS;
- візуалізувати відсоткове розходження;
- додати пояснення щодо можливого впливу похибок DEM.

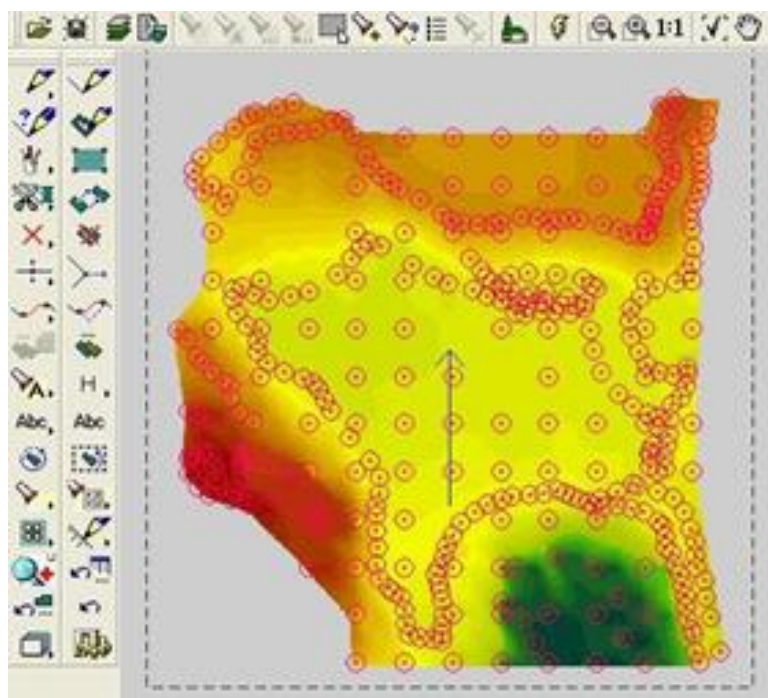


Рисунок 3.10 – Об’ємна модель початкової поверхні, побудована в QGIS

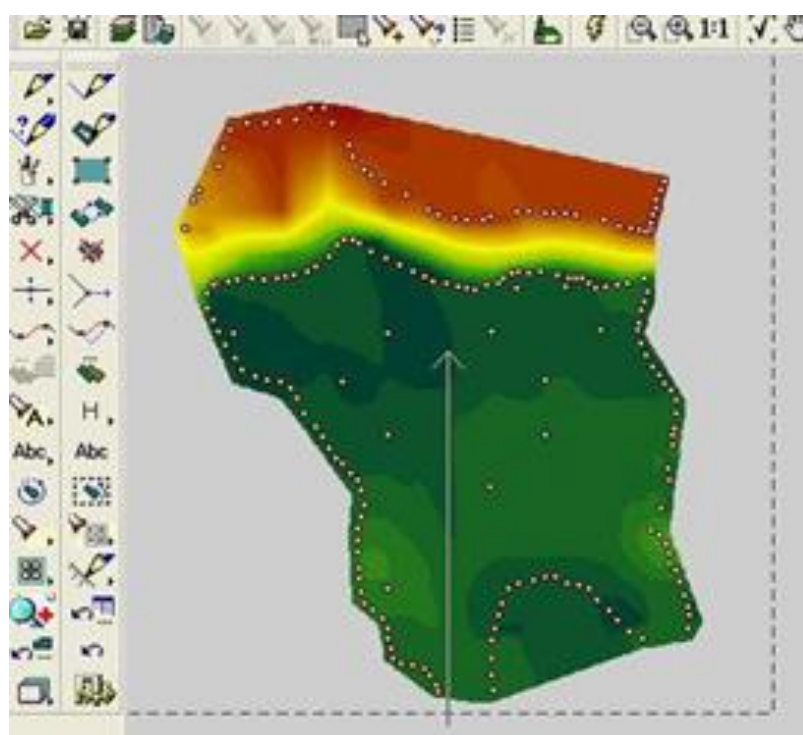


Рисунок 3.11 – Об’ємна модель кінцевої поверхні, побудована в QGIS

Розраховуємо об’єми для початкової та кінцевої поверхні (рис. 3.12 та 3.13) та віднімаємо результати.

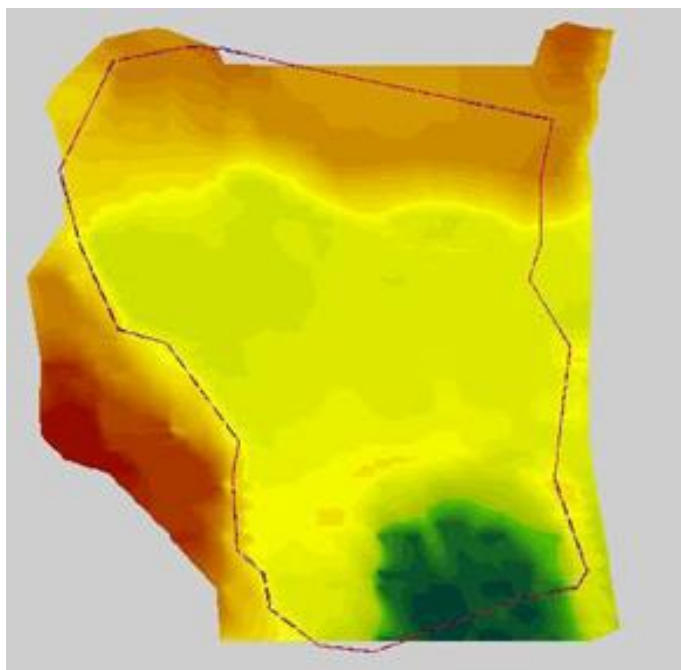


Рисунок 3.12 – Розрахунок об'єму для початкової поверхні

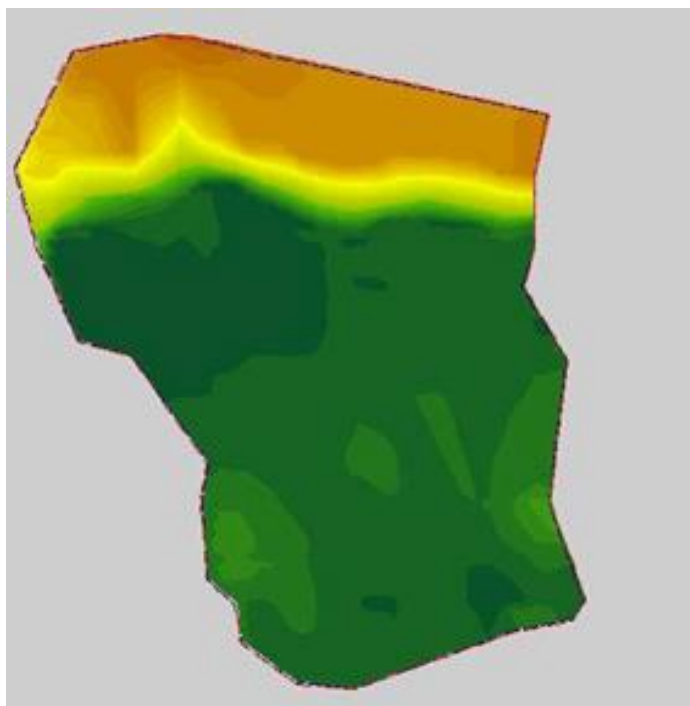


Рисунок 3.13 – Розрахунок об'єму для кінцевої поверхні

Результат – 51670 м<sup>3</sup>, що є дуже близьким значенням до того, яке було розраховане в ArcGIS.

## Висновки по розділу

У межах даного розділу було реалізовано прикладне використання створеної просторової моделі для вирішення конкретної виробничої задачі – розрахунку об'ємів видобутої гірської маси. В результаті:

- проведено аналіз теоретичних основ обчислення об'ємів гірничих виробок на основі цифрових моделей рельєфу;
- розроблено методичну схему розрахунку, яка охоплює весь процес – від збирання геоданих до фінальної візуалізації об'ємних змін;
- створено допоміжний програмний модуль на мові VBA, який дозволяє автоматично генерувати лінійні об'єкти на основі точкових шарів, що істотно спрощує процес підготовки TIN-моделі;
- на базі побудованих моделей виконано розрахунок об'єму видобутку породи;
- для верифікації результатів розрахунків було повторено у середовищі QGIS, що підтвердило достовірність отриманих даних.

Таким чином, апробація розробленої моделі підтвердила її практичну ефективність та можливість подальшої інтеграції в системи моніторингу гірничовидобувних підприємств.

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Регулювання питань охорони праці на законодавчому рівні

Законодавство України з охорони праці відіграє важливу роль у формуванні культури безпеки праці в організаціях та підприємствах, а також у створенні та підтриманні безпечного робочого середовища для працівників. Закон України «Про охорону праці» у статті 13 зазначає, що саме роботодавець є відповідальним з створення безпечних умов праці та забезпечує функціонування системи управління охороною праці [13]. Організація функціонування системи управління охороною праці також є важливою складовою міжнародного стандарту ISO 45001:2018, який з 2019 року прийнятий, як національний [14].

Система управління охороною праці є частиною системи управління організації в цілому, яка охоплює:

- організація та політика в галузі охорони праці в компанії;
- процес планування для запобігання нещасним випадкам та захворюванням;
- обов'язки лінійного керівництва;
- практики, процедури та ресурси для розробки та впровадження, перегляду та підтримки політики в галузі охорони праці.

Система має охоплювати весь спектр організації охорони праці та здоров'я роботодавця. Ключовими елементами успішної системи управління охороною праці та здоров'я є:

#### 1. Політика та зобов'язання.

Підприємство має підготувати програму політики у галузі охорони праці. Ефективна політика в галузі охорони праці повинна встановлювати чіткий напрямок, якому повинна слідувати організація. Вона сприятиме всім

аспектам ефективності бізнесу як частина демонстрованої прихильності до постійного вдосконалення. Обов'язки перед людьми та робочим середовищем будуть виконуватися таким чином, щоб відповідати чинному законодавству. Економічно ефективні підходи до збереження та розвитку людських та фізичних ресурсів скоротять фінансові втрати та зобов'язання. У ширшому контексті очікування зацікавлених сторін, чи то акціонери, співробітники чи його представники, клієнти чи суспільство загалом, можуть бути виконані.

## 2. Планування.

Підприємство має розробити план виконання політики безпеки та охорони праці. Ефективна структура управління та механізми мають бути запроваджені для реалізації політики. Цілі та завдання з безпеки та охорони праці повинні бути встановлені для всіх керівників та співробітників.

## 3. Впровадження та експлуатація.

Для ефективної реалізації організації повинні розвивати можливості та механізми підтримки, необхідні для досягнення політики, цілей та завдань у галузі безпеки та охорони праці. Весь персонал має бути мотивований працювати безпечно та захищати своє здоров'я, а не просто уникати нещасних випадків. Ці заходи мають бути:

- підкріплені ефективним залученням та участю персоналу за допомогою відповідних консультацій, використанням системи представництва з питань безпеки;

- підкріплені ефективною комунікацією та підвищенням компетентності, що дозволяє всім співробітникам вносити відповідальний та усвідомлений внесок у забезпечення безпеки та охорони праці [15].

Має бути запланований та забезпечений систематичний підхід до впровадження політики охорони праці за допомогою ефективною системи управління охороною праці. Мета полягає у тому, щоб мінімізувати ризики. Методи оцінки ризиків повинні використовуватися для визначення пріоритетів та постановки завдань щодо усунення небезпек та зниження ризиків. По можливості ризики мають бути усунені шляхом вибору та

проектування об'єктів, обладнання та процесів. Якщо ризики неможливо усунути, їх слід мінімізувати шляхом використання фізичних засобів контролю та безпечних систем роботи або у крайньому випадку шляхом надання засобів індивідуального захисту. Повинні бути встановлені стандарти продуктивності та використовуватися для вимірювання досягнень. Повинні бути визначені конкретні дії щодо сприяння позитивній культурі безпеки та охорони праці. Має бути загальне розуміння бачення, цінностей та переконань організації щодо здоров'я та охорони праці. Видиме та активне лідерство керівництва організації сприяє позитивній культурі безпеки та охорони праці.

#### 4. Вимірювання продуктивності.

Організація повинна вимірювати, контролювати та оцінювати показники безпеки та охорони праці. Показники можна вимірювати за узгодженими стандартами, щоб виявити, коли та де необхідні покращення. Активний самоконтроль показує, наскільки ефективно функціонує система управління безпекою та охороною праці. Самоконтроль розглядає як обладнання (приміщення, завод та речовини), так і програмне забезпечення (людей, процедури та системи, включаючи індивідуальну поведінку та продуктивність). Якщо елементи управління не спрацьовують, реактивний моніторинг повинен з'ясувати, чому вони не спрацьовують шляхом розслідування нещасних випадків, поганого стану здоров'я або інцидентів, які могли б завдати шкоди або збитків. Цілі активного та реактивного моніторингу:

- визначення безпосередніх причин неналежного виконання;
- виявити будь-які основні причини та наслідки для проектування та функціонування системи управління охороною праці.

#### 5. Аудит та перевірка ефективності.

Організація повинна постійно переглядати та покращувати свою систему управління охороною праці, щоб її загальні показники безпеки та охорони праці постійно покращувалися.

Організація може отримувати уроки з відповідного досвіду та застосовувати їх. Повинен проводитись систематичний огляд ефективності на основі даних моніторингу та незалежних аудитів усієї системи управління охороною праці.

Вони є основою дотримання організацією своїх обов'язків відповідно до законодавчих положень.

Повинна бути тверда прихильність до постійного вдосконалення, що включає розробку політик, систем та методів контролю ризиків.

#### 4.2 Виявлення потенційних небезпек стосовно об'єкту проектування

Розробка програмного додатку для автоматизованого розрахунку об'ємів видобутку гірської породи є темою дипломної роботи бакалавра, тому у розділі з охорони праці буде проведено аналіз умов праці та виявлення потенційних небезпек для працівників гірничодобувної галузі.

Працівники гірничодобувної промисловості задіяні у:

- підземні (шахти) або відкриті (кар'єри) гірничі роботи;
- видобування вугілля, руди, корисних копалин;
- навантаження, транспортування, дроблення, збагачення сировини;
- контроль та обслуговування обладнання.

Умови праці часто екстремальні: висока загазованість, пил, шум, вібрація, фізичне навантаження, ізольованість, вибухонебезпечність.

Наслідки впливу шкідливих факторів:

- гострі: травми, опіки, задуха, отруєння, вібраційна хвороба, приглухуватість;
- хронічні: пневмоконіози, бронхіти, остеохондроз, неврози, зниження зору, захворювання серця та судин;
- психологічні: підвищена стомлюваність, тривожність, знижена увага і, як наслідок, зростання ймовірності помилок та нещасних випадків.

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів для працівників гірничодобувної галузі представлено у таблиця 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз небезпечних та шкідливих факторів для працівників гірничодобувної галузі

Фактор	Опис	Можливі наслідки
Підвищений рівень шуму	Робота бурового, вентиляційного, дробильного обладнання	Порушення слуху (професійна приглухуватість)
Вібрація	Від гірських машин, бурів, автотранспорту	Вібраційна хвороба, захворювання опорно-рухового апарату
Висока/низька температура повітря	Глибокі шахти (тепло), відкриті кар'єри (холод)	Переохолодження, перегрів, тепловий удар
Погане освітлення / повна темрява	Підземні виробки	Втома зору, травми
Загазованість	Метан, вуглекислий газ, окис вуглецю	Отруєння, вибухи, ядуха
Пил	Вугільна, кам'яна, металева	Пневмоконіози (силікоз, антракосилікоз), хронічне обструктивне захворювання легень
Хімічні речовини та пари	Мастила, олії, газ, реагенти при збагаченні	Алергії, отруєння, дерматити
Метан та вибухові речовини	Застосування вибухових речовин, наявність газу в шахтах	Ризик вибуху, смертельних травм
Фізична перенапруга	Підйом, перенесення вантажів, одноманітна робота	М'язова втома, перевантаження
Ізольованість, стрес, монотонність	Робота в обмеженому просторі, зміни по 12 годин	Вигоряння, неврози, помилки у діях
Робота в нічні зміни	Порушення біоритмів	Погіршення сну, хронічна втома
Рухомі машини, стрічки, вали	Рудничні транспортери, крани	Травми, ампутації
Падіння порід, обвалення	Ризики в шахтах та на уступах кар'єрів	Травми, смертельні наслідки
Слизькі або нестійкі поверхні	Вода, олія, бруд	Падіння з висоти власного зросту

4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування та розробка заходів щодо їх попередження

Оцінки ризиків можуть відрізнятися за підходом та спрямованістю залежно від характеру бізнесу, галузі та конкретних присутніх небезпек.

Загальна оцінка ризику: основна мета загальної оцінки ризику – вирішити, які кроки необхідно зробити для дотримання законодавства з охорони праці. Цей тип оцінки ризику підходить для більшості робочих місць і фокусується на виявленні та пом'якшенні поширених небезпек. Він формує основу управління охороною праці для багатьох організацій.

Оцінка ризиків на основі завдань. Оцінки ризиків на основі завдань адаптовані до конкретних видів діяльності або завдань на робочому місці. Вони аналізують небезпеки, пов'язані з певними завданнями, такими як керування машинами, робота на висоті або поводження з небезпечними речовинами. Зосередившись на окремих завданнях, цей тип оцінки дозволяє вживати більш цілеспрямованих заходів щодо контролю ризиків.

Оцінка ризиків, специфічних для сектора: у деяких галузях існують унікальні ризики, які потребують спеціалізованої оцінки ризиків. Наприклад, на будівельних майданчиках існують такі небезпеки, як робота на висоті, вплив шуму та вібрації, а також рух транспортних засобів, тоді як установи охорони здоров'я мають боротися з ризиками, пов'язаними з контролем інфекцій, поводженням з пацієнтами та впливом біологічних небезпек.

Оцінка ризиків, специфічних для конкретного об'єкта: компаніям, які працюють у кількох місцях або на кількох об'єктах, може знадобитися оцінка ризиків, специфічних для конкретного об'єкта, щоб враховувати унікальні небезпеки, присутні на кожному об'єкті. Такі фактори, як географічне розташування, планування, інфраструктура та місцеві правила можуть впливати на ризики, пов'язані з конкретним об'єктом.

Спеціалізована оцінка ризику: у деяких випадках підприємствам можуть знадобитися спеціальні оцінки ризику для усунення конкретних небезпек або відповідності певним нормативним вимогам.

Таблиця 4.2 – Результати використання матриці оцінки ризиків

Вибух метану у шахті				
Визначення категорії серйозності небезпеки		Визначення рівня ймовірності небезпеки		Індекс ризику небезпеки
Вид, категорія	Опис	Вид, рівень	Опис	
I – катастрофічна	Тяжкі травми, смертельні наслідки	B – можлива подія	Нечаста подія, але трапляється	1B – неприпустимий (надмірний) рівень ризику

Таблиця 4.3 – Рекомендації із підвищення рівня безпеки

Рекомендації	Опис рекомендацій
Ефективна вентиляція	- основний засіб боротьби з метаном - забезпечення постійного провітрювання всіх виробок - використання головних та допоміжних вентиляторів
Газовий дренаж (відведення метану)	- застосування систем дегазації: буріння дегазаційних свердловин - зниження концентрації метану до безпечного рівня
Регулярний газовий контроль	- автоматичні газоаналізатори та датчики метану - установка стаціонарних та переносних приладів - сигналізація при перевищенні ГДК
Контроль іскро- та вибухобезпеки обладнання	- застосування іскробезпечних електроприладів (вибухозахищене обладнання); - заборона відкритого вогню та несертифікованої техніки
Ізолювання ділянок із високою газовою рясністю	- зведення перемичок - використання вибухозахисних заслонів та тамбурів

Попередження вибухів метану в шахтах є критично важливим завданням у гірничодобувній промисловості, оскільки метан – вибухонебезпечний газ, що часто зустрічається у вугільних пластах.

### Висновки по розділу

У розділі з охорони праці проведено аналіз законодавства з охорони праці на прикладі таких документів, як закон України «Про охорону праці» та ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT).

Також у розділі проведено аналіз умов праці працівників гірничодобувної промисловості, визначено основні фактори, які на них впливають, проведено оцінку ризику виникнення вибуху метану у шахті та розглянуто ряд рекомендацій із підвищення рівня безпеки.

## ВИСНОВКИ

У роботі було проведено огляд застосування ГІС на гірничодобувних підприємствах України та закордонних країн, поняття та необхідність просторового моделювання, забезпечення геопросторовими даними при моделюванні. Також поставлена задача на дипломне проектування та оцінено доцільність дослідження.

Було розглянуто основні відомості про кар'єр, обрано програмну платформу та спосіб реалізації. Вихідними даними були аерофотознімки, за допомогою програмного забезпечення Delta/Digitals на ЦФС Дельта було виконано їх обробку, отримані пікети конвертовано в ArcGIS та експортовані у створену БГД. На основі розробленої технології моделювання було створено просторову модель кар'єру.

У якості практичної задачі для апробації просторової моделі було обрано задачу розрахунку об'ємів вийнятих гірських порід, розглянуто теоретичні основи розрахунку, розроблено методику розрахунку, створено програму на мові VBA для автоматичної побудови лінійних об'єктів по точковим та обчислено об'єм. Перевірку правильності обчислення виконано у QGIS.

Виконавши моделювання за описаною технологією у програмному продукті ArcGIS, була отримана просторова модель кар'єру.

Головним достоїнством даної моделі є те, що вона в першу чергу орієнтована на вирішення практичних задач, а не тільки для візуалізації.

Доповнюючи і корегуючи тривимірне зображення після кожного звітного періоду новими даними, що отримані із топозйомки за допомогою супутникових систем позиціонування GPS, модель дозволить виконувати ряд прикладних задач із застосуванням ArcGIS:

- проводити аналіз;

- виконувати камеральну обробку результатів польових вимірювань із подальшим їх використанням у моделі;
- корегувати просторову модель кар'єру новими даними,
- додавати уступи, ряди бурових свердловин, автомобільні дороги та залізниці, лінії електропередач та ін.;
- вести поточний облік стану виїмки гірських порід;
- розраховувати об'єми видобутку корисних копалин та інших кількісних та якісних показників;
- займатись плануванням подальшого розвитку видобутку корисних копалин;
- будувати профілі, поверхні та інших графічні об'єкти;
- вести БГД та оновлювати її;
- здійснювати планування, проектування, моделювання та прогнозування ведення гірничих робіт;
- здійснювати геостатистичний аналіз;
- підвищити точність розрахунків та достовірність геоінформаційних даних.

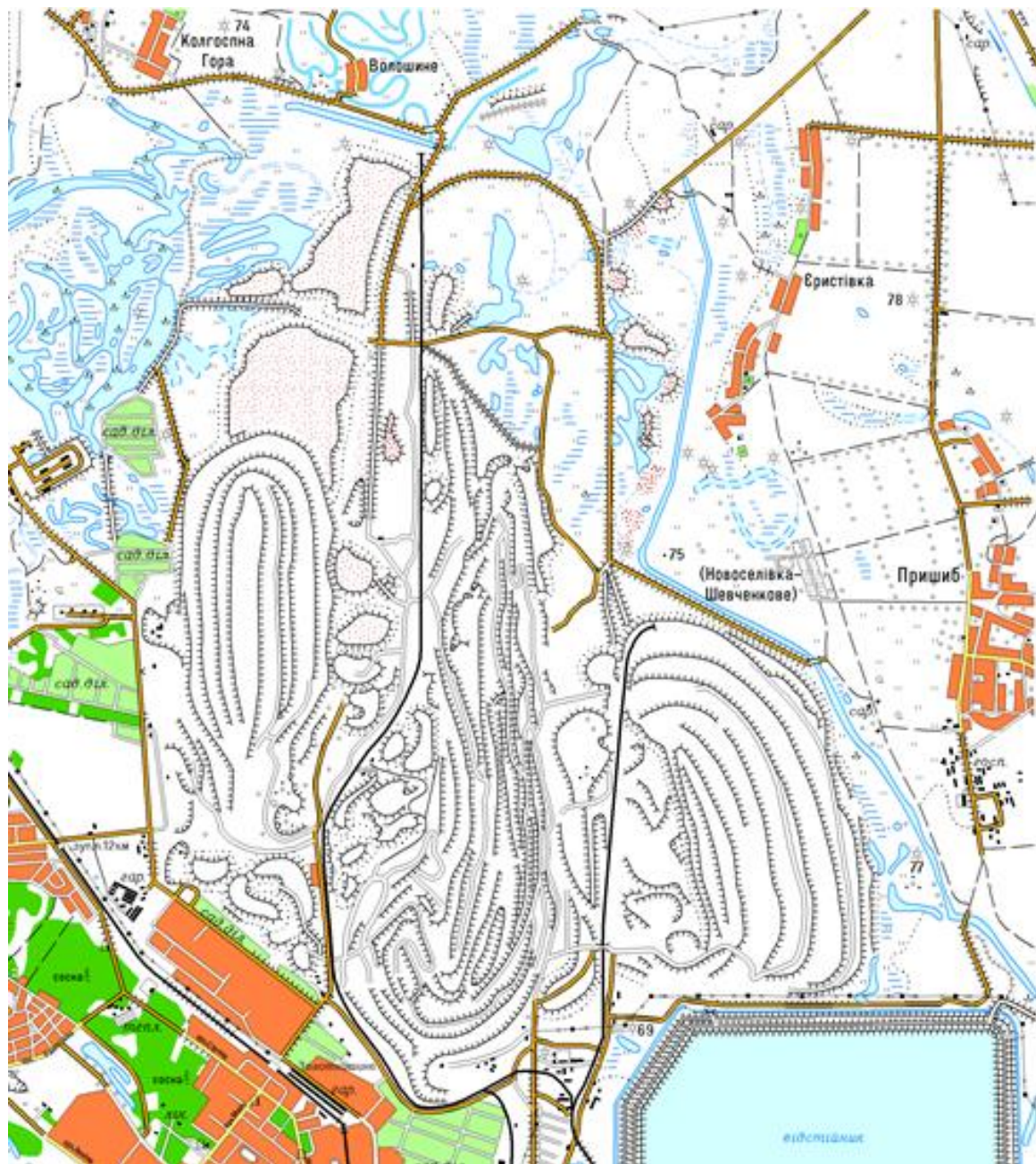
Отже модель кар'єру дозволяє вирішувати досить широкий спектр задач. При грамотній експлуатації, нарощуванні даних у БГД та самій моделі, а також при використанні ArcGIS в якості корпоративної ГІС можливе виконання робіт із проектування в єдиному інформаційному просторі, запровадження багатокористувальницького режиму використання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Vora J. Dust dispersion modelling for opencast mines. A Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of bachelor of technology in mining engineering / J. Vora. – Rourkela: National university of technology, 2010. – 55 p.
2. Гірничі машини для відкритих гірничих робіт : навч. посібник / А.О. Бондаренко ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2017. – 123 с.
3. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Д.: НГУ, 2014. – 590 с.
4. Півняк Г.Г. Наукові основи раціонального природокористування при відкритій розробці родовищ: монографія / Г.Г. Півняк, І.Л. Гуменик, К. Дребенштедт, А.І. Панасенко; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2011. – 568 с.
5. Концепція поліпшення екологічного становища гірничодобувних регіонів України. Постанова КМ України від 31.08.1999, №1606. – 23 с. 4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1606-99-%D0%BF>
6. Шипулін В. Д. Планування і управління ГІС-проектами / В. Д. Шипулін, Є. І. Кучеренко. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 158 с.
7. Інфраструктура просторових даних : навч. посібник / А. А. Євдокімов, Н. О. Манакова, Т. С. Сенчук ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 159 с.
8. Бизов В.Ф. Відкриті гірничі роботи: підручник / В.Ф. Бизов, А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Кр. Ріг: КТУ, 2004. – Т. XIII. – 341 с.
9. ArcGIS for Desktop Esri [Електронний ресурс] / Сайт. – Режим доступу: <https://esri.in.ua/arcgis-for-desktop/>

10. Навігаційно-геодезичний центр» Майстер-представник Leica Geosystems в Україні [Електронний ресурс] / Сайт. – Режим доступу: [https://ngc.com.ua/ua/info/about\\_us.html](https://ngc.com.ua/ua/info/about_us.html)
11. Сайт «Перша українська електронна бібліотека підручників» [Електронний ресурс] / Сайт. – Режим доступу: <http://pidruchniki.com.ua/>.
12. Кодекс України про надра. Постанова ВР №133/94 ВР від 27.07.94 // ВВР. – 1994, №36, ст. 341. – 15 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/132/94-%D0%B2%D1%80>
13. «Закон України «Про охорону праці». – Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.
14. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT).
15. Про заходи із запобігання аваріям на шахтах України. – Офіційний сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0499558-04#Text>.

ДОДАТОК А  
Фрагмент топографічної карти масштабу 1:50 000



ДОДАТОК Б  
Фрагмент супутникового знімка Google



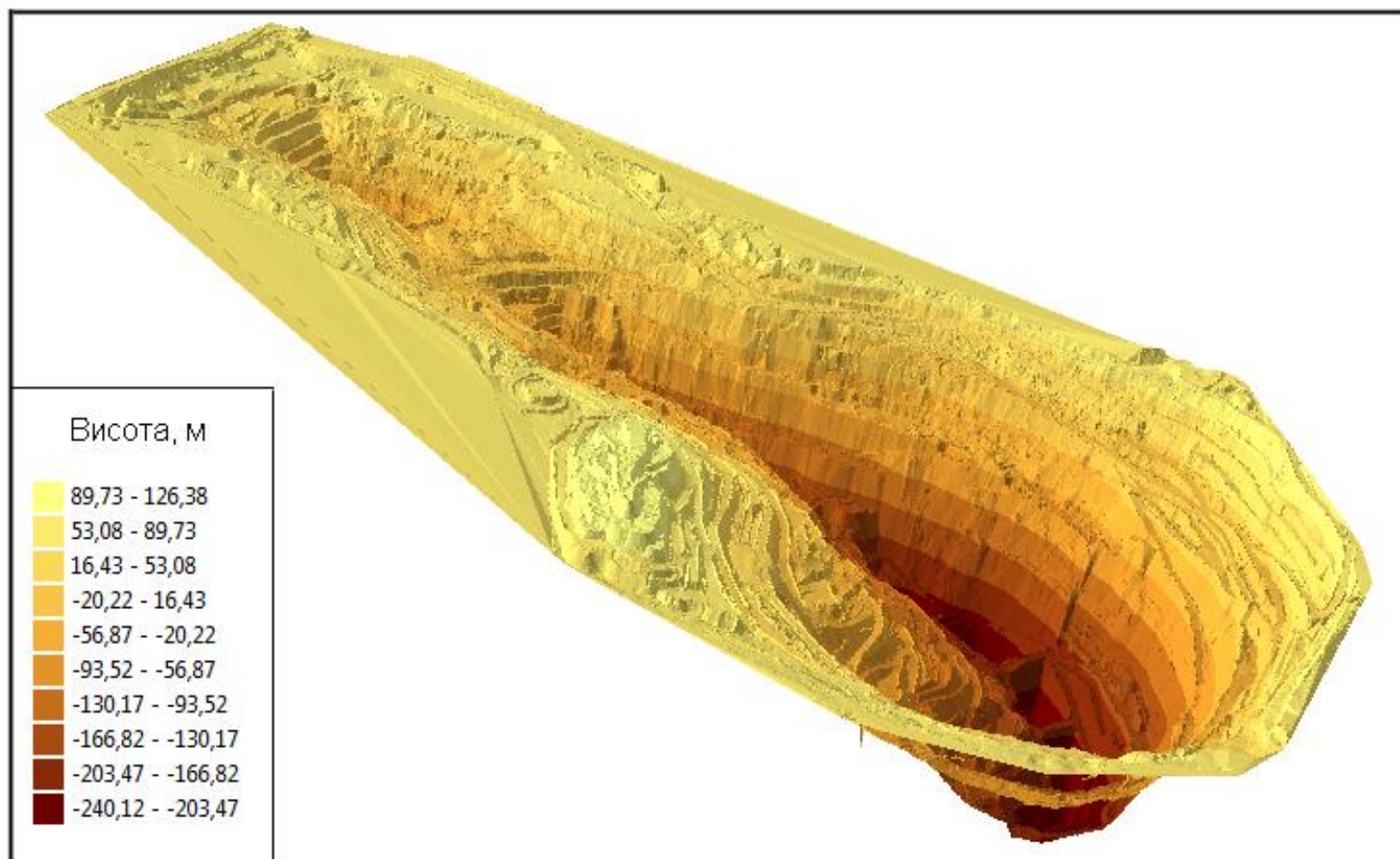
## ДОДАТОК В

Репродукція орієнтованих знімків на територію кар'єру



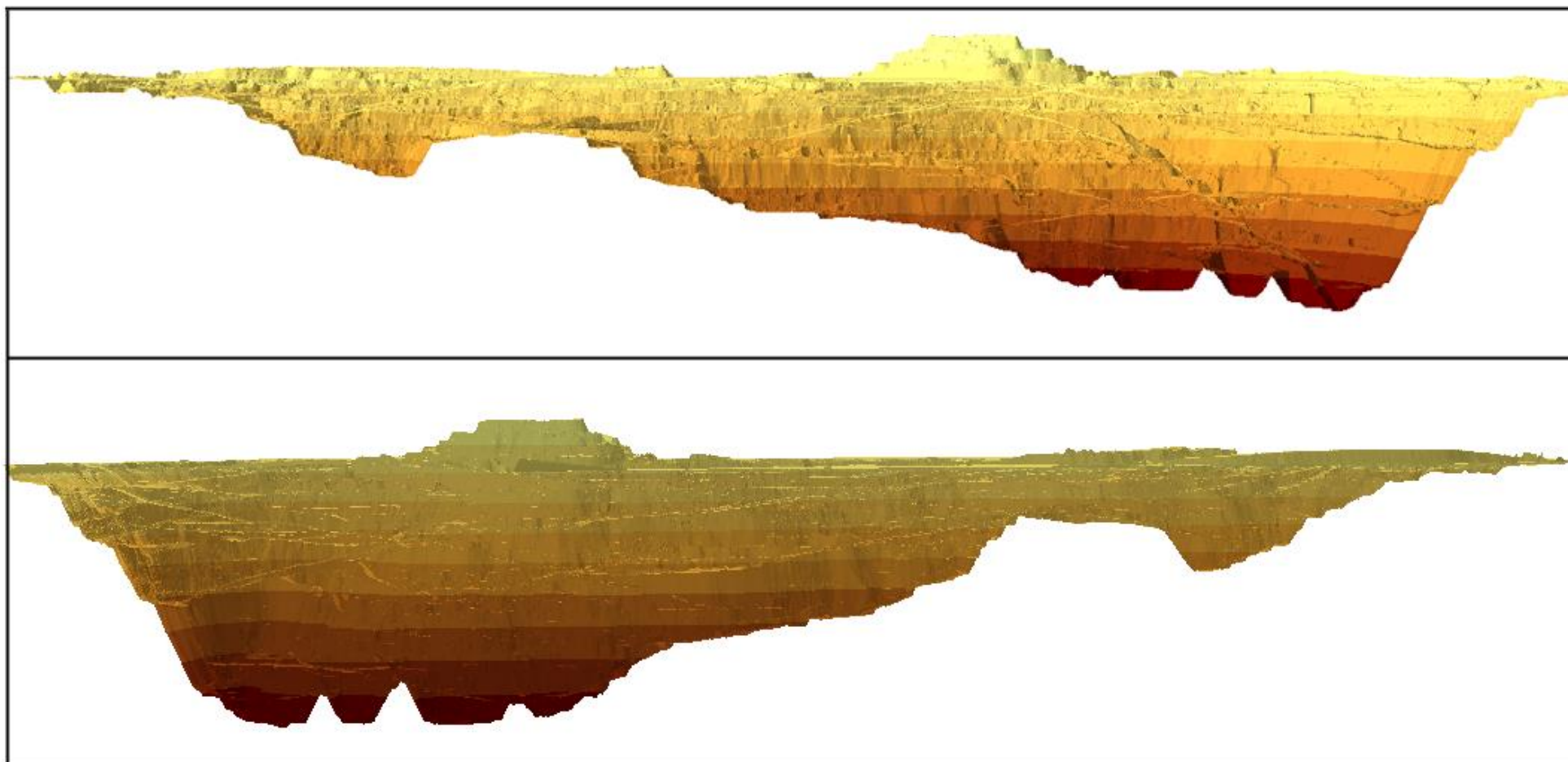
ДОДАТОК Г  
Просторова модель кар'єру

Загальний вид



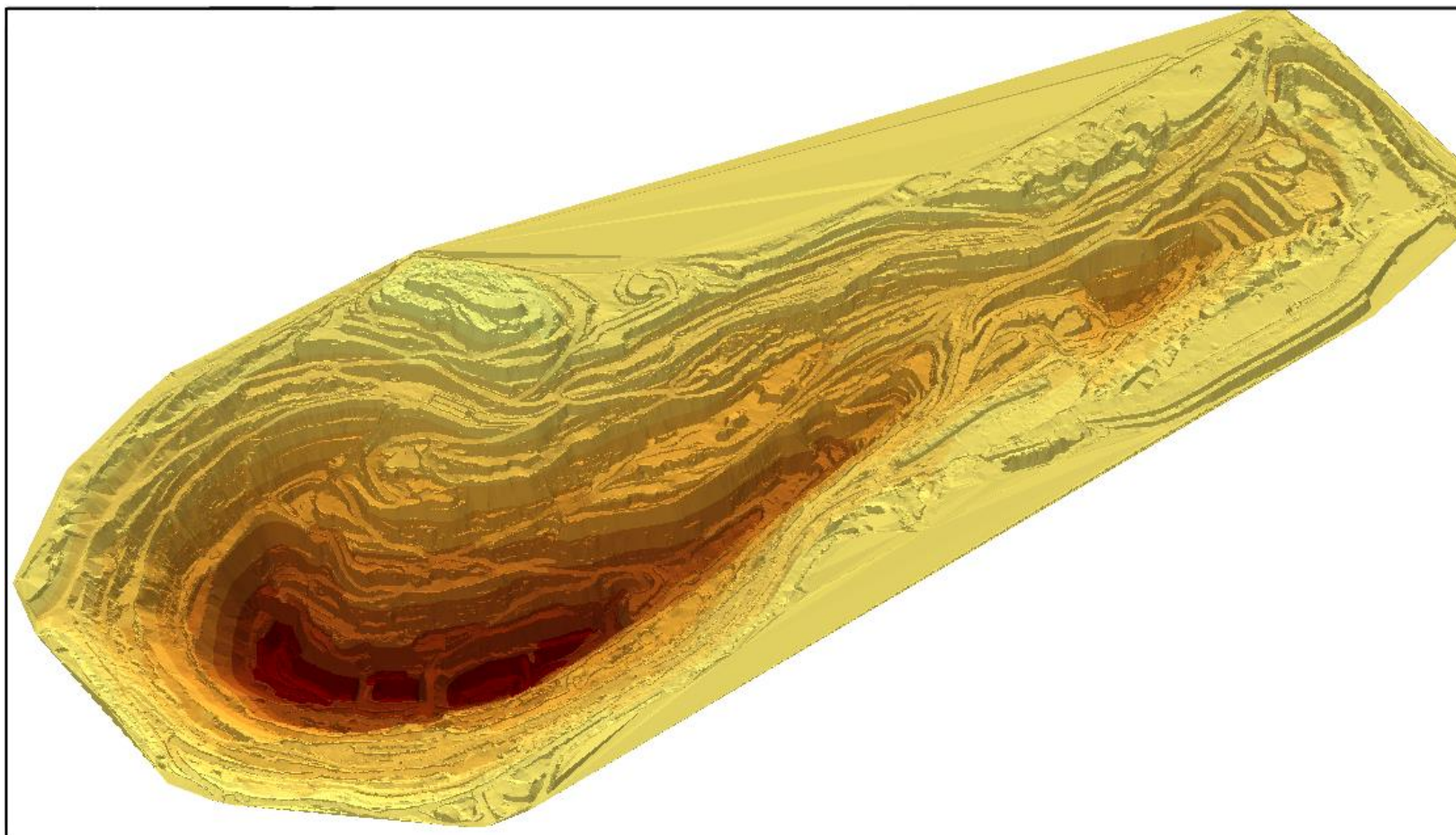
## ДОДАТОК Г (ПРОДОВЖЕННЯ)

Вид збоку



## ДОДАТОК Г (ПРОДОВЖЕННЯ)

Вид зверху



## ДОДАТОК Д

Лістинг програми для автоматичної побудови ліній по точковим об'єктам

Exit Function

End If

Set pLayer = pLayers.Next

Loop

End If

End If

Exit Function

GetLayer\_Err:

Debug.Print "GetLayer\_ERR: " &amp; Err.Description Dim p2llyer As IFeatureLayer

Dim fclass As IFeatureClass

Dim fields As Ifields

Private Sub UserForm\_Activate()

Dim pMxDoc As IMxDocument

Dim pLayers As IEnumLayer

Dim pLayer As ILayer

Set pMxDoc = Application.Document

Set pLayers = pMxDoc.FocusMap.Layers

Set pLayer = pLayers.Next

LayersCB.Clear

Do While Not pLayer Is Nothing

LayersCB.AddItem (pLayer.Name)

Set pLayer = pLayers.Next

Loop

End If

End Sub

## ДОДАТОК Д (ПРОДОВЖЕННЯ)

```
Private Sub LayersCB_Change()  
    Dim fieldName As String  
    Set p2llayer = GetLayer(LayersCB.Text)  
    Set fclass = p2llayer.FeatureClass  
    Set fields = fclass.fields  
    FieldsCB.Clear  
    For i = 0 To fields.FieldCount - 1  
        fieldName = fields.Field(i).AliasName  
        FieldsCB.AddItem (fieldName)  
    Next i  
End Sub
```

---

```
Private Sub FieldsCB_Change()  
    Dim cursor As IFeatureCursor  
    Dim feat As IFeature  
    Dim qf As IQueryFilter  
    Dim code As String  
    Dim codearray() As String  
    Dim flag As Boolean  
    Dim count As Integer  
    count = 1  
    Set qf = New QueryFilter  
    qf.WhereClause = ""  
    Set cursor = fclass.Search(qf, False)  
    ReDim codearray(fclass.FeatureCount(qf))  
    While Not feat Is Nothing  
        code = feat.Value(feat.fields.FindFieldByAliasName(FieldsCB.Text))  
        flag = False
```

## ДОДАТОК Д (ПРОДОВЖЕННЯ)

```
For i = 0 To UBound(codearray) - 1
    If codearray(i) Like code Then
        flag = True
    End If
Next i
If Not flag Then
    CodeCB.AddItem (code)
    codearray(count - 1) = code
    count = count + 1
End If
Set feat = cursor.NextFeature
Wend
End Sub
```

---

```
Private Sub CreateButton_Click()
```

```
Dim cursor As IFeatureCursor
    Dim feat As IFeature
    Dim qf As IQueryFilter
    Dim pPoint As IPoint
    Dim pPointColl As IPointCollection
    Dim pPolyline As IPolyline
    Dim pPolylinePoint As IPointCollection
    Dim pUID As New UID
    Dim pEditor As IEditor
    Dim pEditLayers As IEditLayers
    Dim pActiveView As IActiveView
    Dim pNewFeature As IFeature
    Dim pRow As IRow
    Dim FileName As String
```

## ДОДАТОК Д (ПРОДОВЖЕННЯ)

```

pUID = "esriCore.Editor"
Set pEditor = Application.FindExtensionByCLSID(pUID)
Set pEditLayers = pEditor
Set pActiveView = pEditor.Map
pEditor.StartOperation
Set pNewFeature = pEditLayers.CurrentLayer.FeatureClass.CreateFeature
Set pPolylinePoint = New Polyline
Set pPolyline = New Polyline
Set pPointColl = New Polyline
Set pRow = pNewFeature
Set qf = New QueryFilter
qf.WhereClause = FieldsCB.Text + "=" + CodeCB.Text + ""
Set cursor = fclass.Search(qf, False)
Set feat = cursor.NextFeature
While Not feat Is Nothing
    pPointColl.AddPoint feat.Shape
    Set feat = cursor.NextFeature
Wend
pPolylinePoint.AddPointCollection pPointColl
Set pPolyline = pPolylinePoint
Set pNewFeature.Shape = pPolyline
pNewFeature.Store
pEditor.StopOperation
pActiveView.PartialRefresh esriViewGeography, Nothing, pPolyline.Envelope
End Sub

```

---

```

Public Function GetLayer(sLayer) As IFeatureLayer
    Dim pMxDoc As IMxDocument
    Dim pLayers As IEnumLayer

```

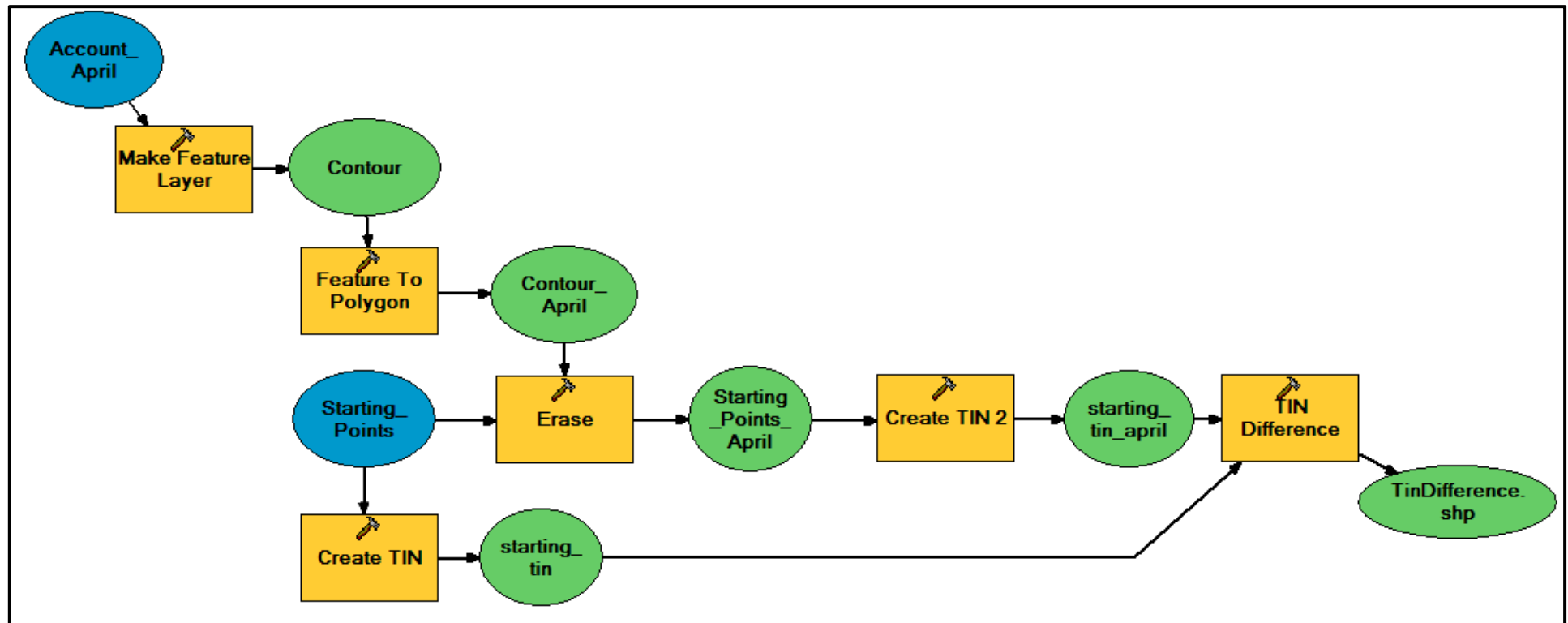
## ДОДАТОК Д (ПРОДОВЖЕННЯ)

```
Dim pLayer As ILayer
On Error GoTo GetLayer_Err
If IsNumeric(sLayer) Then
    If TypeOf Application.Document Is IMxDocument Then
        Set pMxDoc = Application.Document
        Set GetLayer = pMxDoc.FocusMap.Layer(sLayer)
    Exit Function
    End If
Else
    If TypeOf Application.Document Is IMxDocument Then
        Set pMxDoc = Application.Document
        Set pLayers = pMxDoc.FocusMap.Layers
        Set pLayer = pLayers.Next
        Do While Not pLayer Is Nothing
            If UCase(sLayer) = UCase(pLayer.Name) Then
                Set GetLayer = pLayer
            End If
        Loop
    End If
End If

Debug.Assert 0
End Function
```

## ДОДАТОК Е

Модель процесу оновлення просторової моделі даними після закінчення звітного періоду та розрахунок об'ємів представлена в ModelBuilder (ArcGIS)



## ДОДАТОК Є

Модель процесу розрахунку об'ємів представлена в ModelBuilder (ArcGIS)

