

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-181>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/181>

УДК 528.422.2 : 631.6.02

ОБЧИСЛЕННЯ ОБ'ЄМІВ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ РЕЛЬЄФУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ІНЖЕНЕРНО-МЕЛІОРАТИВНИХ ЗАХОДІВ

Г.В. Гапіч¹, канд. техн. наук, А.В. Зуска², канд. техн. наук

¹ Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна;

<https://orcid.org/0000-0001-5617-3566>; e-mail: gapichgennadii@gmail.com

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-5693-6647>; e-mail: ada54ka@gmail.com

Анотація. У статті представлена актуальна проблема точності обчислення об'єму земляних робіт, що надає можливість зменшити вартість реалізації проекту вертикального планування рельєфу території при проведенні інженерно-меліоративних заходів. Проаналізовані навчальні та наукові публікації, де розглядаються класичні методи розрахунку об'ємів земляних мас за відомими геодезичними формулами. На основі аналітичного огляду публікацій сформульовано завдання – одержати найбільш достовірні розрахункові значення об'єму земляних робіт за допомогою автоматизованого метода визначення. Для вирішення поставленої задачі реалізований приклад обчислення об'єму земляних мас для вертикального планування із застосуванням програмного комплексу *Golden Software Surfer8*, який є галузевим стандартом побудови графічних зображень функцій двох змінних та однією з кращих програм для побудови тривимірних поверхонь та їх обробки. У даній публікації розглянуто послідовність розрахунку об'єму ґрунтових мас для вертикального планування рельєфу горизонтальної та нахиленої ділянок і визначена відносна похибка обчислень. Достовірність отриманих значень об'єму оцінена шляхом порівняння результатів різними розрахунковими методами («Трапеції», «Сімпсона», «Сімпсона 3/8» та «Квадратів») та по балансу «віймки-насіпу». За результатами розрахунків встановлено, що відносна похибка обчисленого об'єму горизонтальної і похилої ділянок знаходиться в межах від 0,03–0,06%, а баланс земляних робіт 1,65–4,6%, що не перевищує регламентованих стандартами 5,0%. Переваги застосування програми *Surfer 8* обґрунтовуються зменшенням обсягу та тривалості робіт при складанні проекту вертикального планування та перенесенні його в натуру, а також економічністю реалізації у зв'язку з меншою відносною та допустимою похибкою розрахунків і вимірювань.

Ключові слова: вертикальне планування, об'єм земляних робіт, сітка квадратів, цифрова модель поверхні.

Постановка проблеми. При проектуванні складових елементів меліоративних систем використовують топографічні карти і плани масштабів 1:10000–1:5000 з висотою перетину рельєфу 0,5–1,0 м. Топографічною основою для складання проектів вертикального планування служать плани масштабу 1:500–1:2000 з висотою перетину рельєфу 0,25–0,5 м, побудовані за результатами нівелювання поверхні по квадратах 20×20 м [1]. Рельєф місцевості має виняткове значення для зрошувальних і осушувальних меліорацій. Детальне вивчення і відображення рельєфу на плані дозволяє уникати похибок у проектуванні та розрахунках інженерних мереж, визначити оптимальні техніко-економічні параметри та режими їх роботи. Характер рельєфу і ухил зрошуваної території є однією з головних умов для вибору способу поливу та вертикального планування поля, тобто

приведення природного рельєфу до стану, що забезпечує найбільш сприятливі умови для загального плану осушення або зрошення. Разом з цим, вертикальне планування меліоративних ділянок є невід'ємною складовою забезпечення сталого еколого-меліоративного режиму функціонування території шляхом збереження ґрунтового покриву та захисту його від водної ерозії [2; 3].

Основна вимога для розробки проекту вертикального планування – це мінімальний об'єм земляних робіт. Планування, як правило, виконують в єдиному комплексі з будівництвом споруд меліоративної системи і з дотриманням балансу ґрунтових мас, тобто коли ґрунт перерозподіляється на території ділянки без його завезення чи вивезення. При лазерному контролі в процесі виробництва земляних робіт відхилення відміток поверхні (чорних) від проектних (червоних)

допускаються в межах ± 3 см. Відхилення насипу родючого шару ґрунту допускається в межах $\pm 10\%$ від проектної. Відхилення відміток планування від проектних допускається в межах ± 5 см за умови, що ці відхилення не створюють зворотних ухилів, що ускладнюють виконання поливів [4].

Для розрахунку об'ємів земляних робіт існує декілька різних методів і формул обчислення. Доцільність методу обґрунтовується в кожному конкретному випадку з урахуванням рельєфу місцевості, розмірів поля, конфігурації та інших особливостей гідромеліоративної системи, способів та засобів виробництва робіт і необхідної розрахункової точності об'ємів.

Актуальність дослідження. Задача визначення трудомісткості земляних робіт (який об'єм ґрунту потрібно розробити або насипати) є досить актуальною для фахівців різних галузей – маркшейдерів, гідротехніків, будівельників авто- та залізничних доріг тощо. Достовірність визначення об'ємів насипу та виїмки ґрунтових мас надає можливість зменшити вартість виконання проекту вертикального планування.

Мета дослідження. Обґрунтування точності і порівняння розрахунків об'ємів земляних робіт для вертикального планування горизонтальної та нахиленої земельних ділянок із застосуванням класичних математичних методів та програмного комплексу *Surfer8*.

Методи дослідження. У багатьох джерелах науково-технічної літератури досить широко представлені методи розрахунків об'ємів земляних робіт (мас) у вигляді формул. При розрахунку об'ємів земляних робіт для вертикального планування розглядаються в основному методи проектних горизонталей, проектних відміток нівелюванням поверхні за квадратами, проектних профілів і графічні методи [5]. Під час використання методу проектних горизонталей об'єми земляних робіт розраховують за сіткою квадратів. Сторону квадратів вибирають 5, 10 або 20 м, залежно від масштабу плану та необхідної точності розрахунку об'ємів.

Графічні методи вертикального планування ґрунтуються на нанесенні червоних (проектних) горизонталей на план зрошуваної (осушуваної) ділянки. Для цього план меліорованої території з горизонталями розмічують на низку квадратів, які потім розділяють діагоналями на прямокутні трикутники. Сторона квадрата залежно від рельєфу приймається у 10–50 м для пересічного і до 100 м – для спокійного рельєфу.

Розв'язання задачі вертикального планування за допомогою складання системи рівнянь основних параметрів на основі математичної статистики за результатами експериментального моделювання рішень на майданчиках різного функціонального призначення представлено в [6].

На сучасному етапі розвитку комп'ютеризації для проектування рельєфу використовують методи найменших квадратів і квадратичного програмування. У публікації [7] запропоновано методику аналітичного проектування поверхні будівельних майданчиків із дотриманням балансу земляних мас. Отримані аналітичні залежності на основі методів найменших квадратів і квадратичного програмування. Описано приклад вертикального проектування будівельного майданчика.

Об'єми земляних робіт для проекту вертикального планування на великих площах обчислюються за тригранними або чотиригранними призмами [7].


Поряд з класичними методами розрахунку об'ємів земляних мас (котлованів, траншей, геологічних покладів і т.п.) на сьогодні широко застосовуються автоматизовані методи визначення об'єму з використанням стандартних програм *Excel*, *Gredo*, *AutoCAD*, *ArcGIS* та інших.

Результати та їх обговорення. У роботі розглянуто обчислення об'єму ґрунтових мас для вертикального планування рельєфу з використанням геоінформаційної системи *Surfer8*, яка зараз час є галузевим стандартом побудови графічних зображень функцій двох змінних. Відмінною перевагою програми є закладені в неї алгоритми інтерполяції, які дозволяють з високою якістю створювати цифрові моделі поверхні за нерівномірно розподіленими в просторі даними. Крім основних функцій в програмі реалізовано набір додаткових можливостей перетворення поверхонь і різних операцій з ними, зокрема обчислення об'єму між двома поверхнями, побудова профілю, обчислення площі поверхні та інші функції.


Цифрова модель поверхні традиційно представляється у вигляді значень у вузлах прямокутної регулярної сітки, дискретність якої визначається залежно від конкретної задачі. Для зберігання таких значень *Surfer* використовує власні файли типу *Grd* (двійкового або текстового формату), які вже давно стали стандартом для пакетів математичного моделювання [8, 9].

1. Створення нового файлу з даними XYZ. Побудова будь-якого зображення

поверхні в *Surfer* починається з підготовки файлу, що містить дані за координатами. *XYZ* – це числова інформація, яка складається з не менш ніж трьох стовпців, перші два з яких є аргументи *X* і *Y*, а третій (або інші) – як функція(і) *Z* цих аргументів. Не допускається робити пропусків при введенні таких даних, тобто для кожної пари значень *X* і *Y* обов'язково повинні бути присутніми значення всіх функцій *Z*. Для кожного стовпця можна задавати короткі текстові коментарі. Значення топографічної поверхні в точках задаються в таблиці. При цьому можна використовувати вбудовану в пакет таблицю або скористатися електронною таблицею *Excel* з пакету *Microsoft Office* [8]. В електронну таблицю заносяться вихідні дані. У перші два стовпці зручніше занести координати *X* і *Y* (саме там *Surfer* шукає їх за замовчуванням). У третій стовпчик заносяться значення абсолютних відміток вершин квадратів (в ній за замовчуванням програма шукає значення *Z* (рис. 1а).

Створення нового файлу виконується командою *File / New* або кнопкою  на панелі інструментів. Після цього з'явиться діалогове вікно *New (Створити)*. Якщо вибрати пункт *Worksheet (Робочий лист)* і клацнути кнопкою *OK*, тоді з'явиться нове порожнє вікно робочого листа. Відповідно табличний файл записується в підкаталог *Dat* (рис. 1, б).

2. Відкриття існуючого файлу з даними XYZ. Для того щоб відкрити готовий файл (*.dat) з даними *XYZ* в окреме вікно робочого листа необхідно:

1. Виконати команду *File/Open* або використовувати кнопку  на панелі інструментів *Main*. З'явиться стандартне діалогове вікно *Open (Відкрити)*.

2. У списку файлів вибрати ім'я файлу .dat і клацнути кнопку *Open*. Ім'я цього файлу з'явиться в заголовку вікна робочого листа.

3. Необхідно зауважити, що в стовпці *A* знаходяться значення координат *X* (*Easting*, східне положення), в стовпці *B* – значення координат *Y* (*Northing*, північне положення), в стовпці *C* – значення *Z* (*Elevation*, висота). Текст заголовків стовпців не є обов'язковим, але допомагає ідентифікувати тип даних в стовпчиках. До того ж, ця інформація використовується в різних діалогових вікнах, де потрібно вибирати стовпці робочого листа.

Файл з табличними даними зберігається в файлі з заданим ім'ям, наприклад «*ФактВідмВершКвад*» або «*Фактичні відмітки вершин*». Розширення файлу за замовчуванням вибирають *Excel Spreadsheet (*.xls)*. *File > Save > ФактВідмВершКвад.xls*. Назва файлу задається на свій розсуд. Для збереження результатів бажано створити на локальному диску окремий каталог і всередині нього створити підкаталоги: *Dat* – для збереження файлів з даними, *Set* – для збереження файлу налаштувань *Surfer*, *Grid* – для збереження сіткових файлів, *SRF* – для збереження *Plot* вікон, *Blk* – для збереження файлів меж, *Clr* – для збереження заливок карт [9].

3. Створення інтерпольованої регулярної сітки в Surfer. Для створення інтерпольованої регулярної сітки в *Surfer* (основа для всіх подальших дій в цій програмі) потрібно мати заздалегідь підготовлені дані у вигляді трьох значень *X*, *Y*, *Z*, де *X* і *Y* – координати точки, *Z* – значення висоти в точці, представлені в одному з нижчезказаних форматів (рис. 1).

4. Виведення на екран карти вихідних точок (Post Map). Для візуалізації у вікні *Plot1* розташування вершин проекту сітки квадратів на карті необхідно вибрати відповідне вікно *Plot*: меню *> Window > Plot1*. Коли програма створює нове вікно *Plot*, вона привласнює цьому вікну наступний за своєю чергою номер. У нашому випадку буде декілька вікон

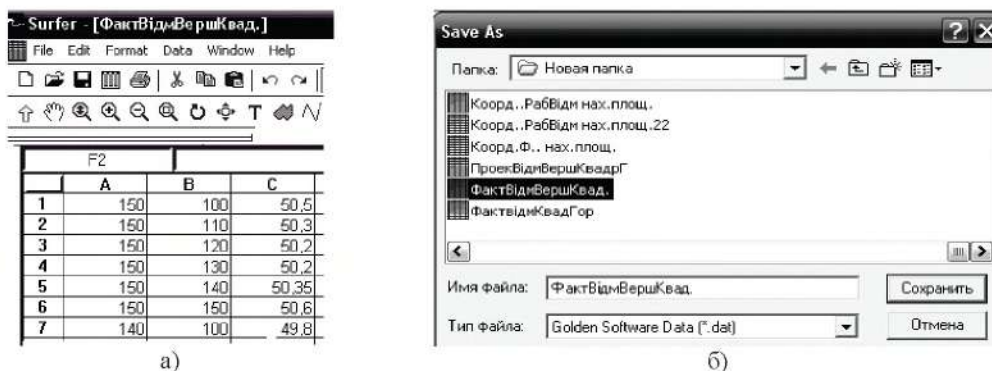


Рис. 1. Приклад робочого інтерфейсу та вихідних даних для створення інтерпольованої регулярної сітки у програмі *Surfer*

Plot, і послідовність дій буде така: Window > Plot1 > Map > PostMap > NewPostMap > C: \ Surfer \ Dat \ ФактВідмВернКвад.xls (рис. 2).

5. Обчислення об'ємів в Surfer. Для підрахунку об'єму за ЦМР користуються стандартною функцією програми *Surfer – Volume*. Наприклад, об'єм, обмежений поверхнею, у якій значення Z задані у вигляді аналітичної функції $Z = (x^2 + y^2)$ і площиною $Z = 0$. Сітку розраховують: Grid > Function і дають їй ім'я за замовчуванням *out.grd* > OK (рис. 2б).

Після натискання клавіші OK відкривається вікно *Grid – Volume* (рис. 3) в якому в верхньому рядку *Upper Surface* (Верхня поверхня) обраний файл *grid.out*, в нижньому рядку *Lower Surface* (Нижня поверхня) за замовчуванням площина $Z = 0$ (рис. 4) або довантажити зазда-

легідь створену і програма проводить розрахунки і видає звіт про обчислення. За верхню (*Upper Surface*) поверхню вибирають вихідну сітку. Нижньою (*Lower Surface*) поверхнею буде площина з максимальним значенням висоти. Програма видає повідомлення для обчислених трьома чисельними методами: трапеції, Сімпсона і 3/8 Сімпсона (табл. 1).

У таблиці 1 представлені значення об'ємів земляних робіт для вертикального планування горизонтальної та нахиленої ділянок за допомогою програми *Surfer*. Загальний об'єм ґрунту є сумою позитивного (насип) і від'ємного (виїмка). Чистий об'єм є різниця між виїмкою та насипом, яка покаже точність розрахунків.

Різниця в об'ємі за трьома різними методами показує точність його розрахунку.

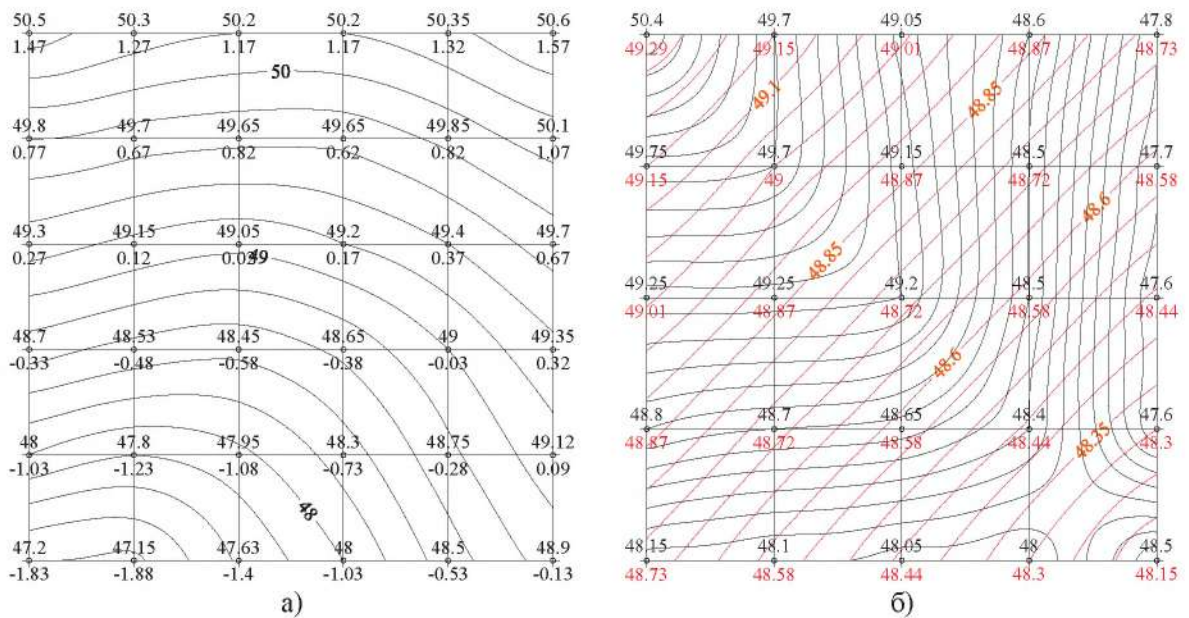


Рис. 2. Проект регулярної сітки квадратів вертикального планування: а – горизонтальна ділянка; б – ділянка з нахилом

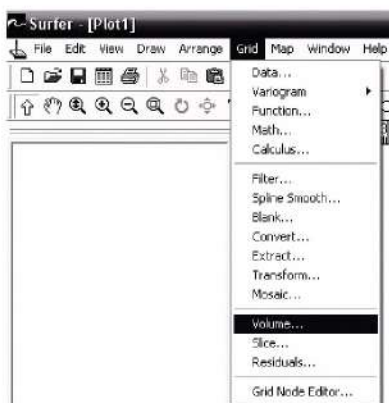


Рис. 3. Розташування функції Volume (об'єм)

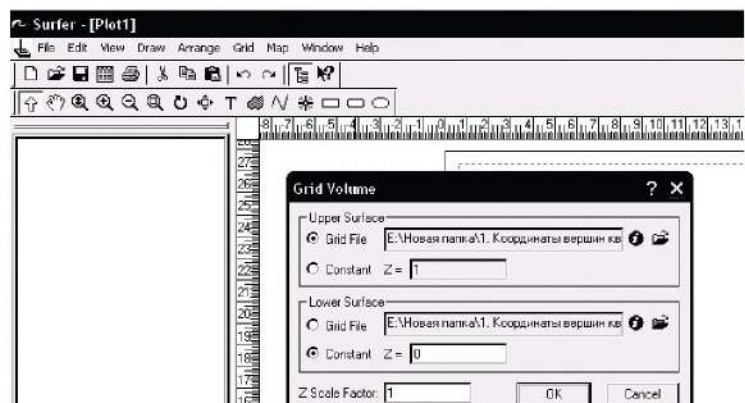


Рис. 4. Вибір поверхні

1. Приклад визначення об'ємів земляних мас у програмі Surfer

Горизонтальна ділянка	Ділянка з похилою поверхнею
Lower Surface Level Surface defined by Z = 0	Lower Surface Level Surface defined by Z = 0
Volumes	Volumes
Z Scale Factor: 1	Z Scale Factor: 1
Total Volumes by:	Total Volumes by:
Trapezoidal Rule: -8,7814210443983	Trapezoidal Rule: 50,722579354471
Simpson's Rule: -8,8356792212153	Simpson's Rule: 50,903631349091
Simpson's 3/8 Rule: -8,8325371152976	Simpson's 3/8 Rule: 50,897422006906
Cut & Fill Volumes	Cut & Fill Volumes
Positive Volume [Cut]: 819,44797257464	Positive Volume [Cut]: 1137,4157699233
Negative Volume [Fill]: 828,19538348396	Negative Volume [Fill]: 1086,5870789475
Net Volume [Cut-Fill]: -8,7474109093189	Net Volume [Cut-Fill]: 50,828690975732
Areas	Areas
Planar Areas	Planar Areas
Positive Planar Area [Cut]: 1277,2458737076	Positive Planar Area [Cut]: 3184,0179700975
Negative Planar Area [Fill]: 1222,7541262924	Negative Planar Area [Fill]: 3215,9820299025
Blanked Planar Area: 0	Blanked Planar Area: 0
Total Planar Area: 2500	Total Planar Area: 6400
Surface Areas	Surface Areas
Positive Surface Area [Cut]: 1279,1791085406	Positive Surface Area [Cut]: 3184,721919804
Negative Surface Area [Fill]: 1224,8624920731	Negative Surface Area [Fill]: 3217,1971296648

Якщо всі три значення об'єму досить близькі, то істинний об'єм близький до цих значень, але коли ці значення відрізняються, то використовують новий файл з більшою щільністю сітки, перш ніж повторити розрахунок об'єму. Чистий об'єм може бути представлений як середнє з трьох значень. Основною складовою проекту вертикального планування територій є картограма земляних робіт (рис. 5, 6).

6. Розрахунок точності обчисленого об'єму. Достовірність об'єму земляних робіт

характеризує відносна похибка у відсотках, яка визначається формулою [10]:

$$\frac{1}{m} = \frac{(V_{\max} - V_{\min}) \cdot 100\%}{V_{cp}}$$

де $1/m$ – відносна похибка; V_{\max} і V_{\min} – найбільший і найменший розрахований об'єм; V_{cp} – середньоарифметичне значення об'ємів із трьох результатів.

Достовірність обчисленого об'єму оцінюється шляхом порівняння результатів трьох розрахункових методів та по балансу виїмки-

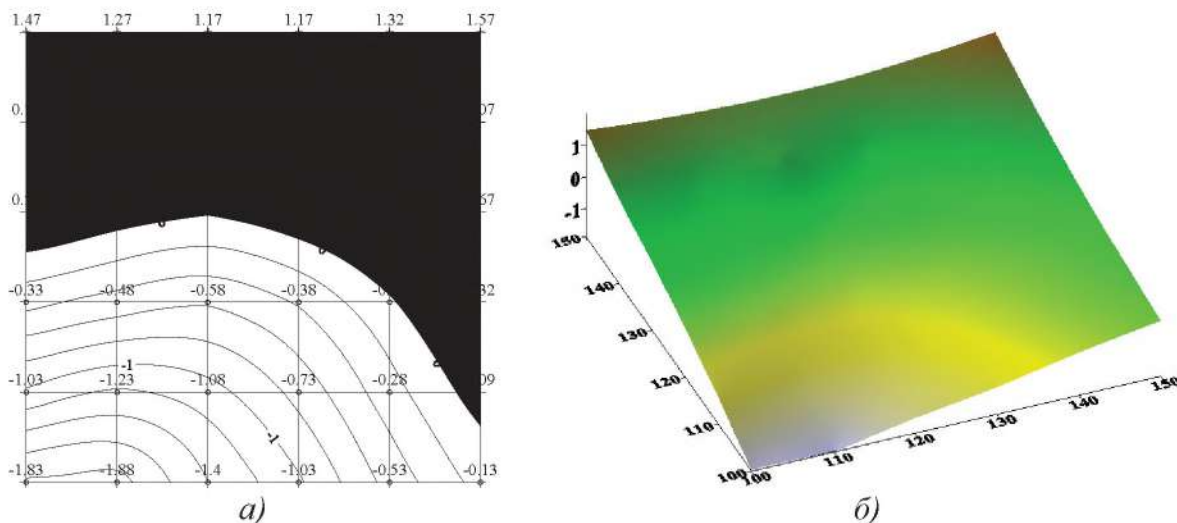


Рис. 5. Вертикальне планування рельєфу:
а – картограма земляних робіт горизонтальної ділянки;
б – тривимірна поверхня горизонтальної ділянки

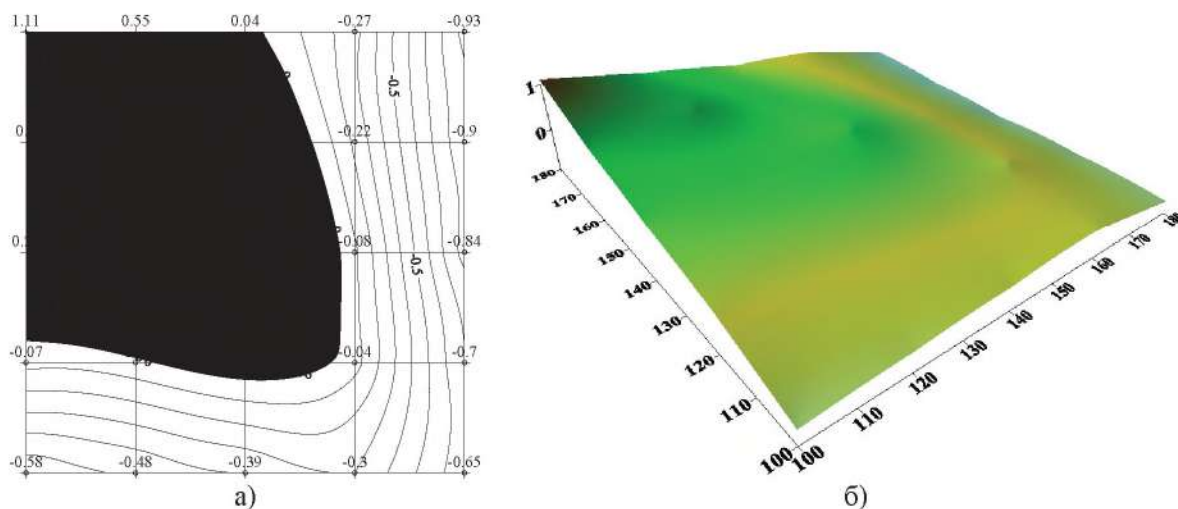


Рис. 6. Вертикальне планування рельєфу:

а – картограма земляних робіт нахиленої ділянки; б – тривимірна поверхня нахиленої ділянки

насипу. Порівняємо його з об'ємом, розрахованим за відомими в геодезії формулами (табл. 2).

Висновки. За результатами розрахунків встановлено, що відносна похибка обчисленого об'єму горизонтальної ділянки за трьома методами склала 0,06%. Баланс земляних робіт такий: за програмним комплексом *Surfer* – 1,01%, за розрахунковими формулами – 1,65%, що є менше регламентованих 5,0%.

Відносна похибка обчисленого об'єму нахиленої ділянки за трьома методами становить 0,03%. Баланс земляних робіт відповідно складає: програма *Surfer* – 4,6%, за формулами – 0,8%, що не перевищує регламентованих 5,0%.

Отже, застосування програми *Surfer 8* дає можливість обчислювати не тільки об'єми земляних мас між двома поверхнями планування, але і площі цих поверхонь. Достовірність розрахованого об'єму підтверджує величина відносної похибки балансу земляних робіт. Переваги застосування програми *Surfer8* обґрунтовуються зменшенням обсягу та тривалості робіт при складанні проекту вертикального планування та перенесенні його в натуру під час виконання інженерно-меліоративних заходів, а також економічністю реалізації у зв'язку з меншою відносною та допустимою похибкою розрахунків та вимірювань.

2. Визначення відносної похибки об'ємів земельних робіт

Значення об'єму	Виїмка, м ³	Насип, м ³	Чистий об'єм, м ³	Середній об'єм, м ³	Відносна похибка обчисленого об'єму, %
Методи обчислення:	Горизонтальна ділянка				
Трапеції;	-	-	-8,781	-	-
Сімпсона	-	-	-8,835	-8,800	0,06 %
Сімпсона 3/8	-	-	-8,832	-	-
Виїмка та насип	819,448	828,195	-8,747	823,822	1,01 %
За формулами:					
за квадратами	800,4	813,7	- 13,3	-	1,65 %
Методи обчислення:	Нахилена ділянка				
Трапеції;	-	-	50,722	-	-
Сімпсона;	-	-	50,904	50,840	0,04 %
Сімпсона 3/8	-	-	50,897	-	-
Виїмка та насип	1137,416	1086,587	50,829	1112,002	4,6 %
За формулами:					
за квадратами	1088,7	1080,3	8,4	1084,5	0,8 %

Бібліографія

1. Батраков Ю.Г. Геодезические сети сгущения. Москва: Недра. 1987. 255 с.
2. Рудаков Л.М., Гапич Г.В. Сучасний стан, динаміка змін та перспективи розвитку гідротехнічних меліорацій у Дніпропетровській області // Меліорація і водне господарство. 2019. № 1. С. 54–60.
3. Панасюк Ю.А., Ліщинський А.Г. Проблеми управління меліорованими територіями // Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2011. № 75. С. 135–138.
4. Меліоративні системи та споруди. ДБН В.2.4-1-99. Держбуд України. Київ. 2000. [Введені в дію з 01.01.2000 р.].
5. Баран П.І. Інженерна геодезія: монографія. Київ: ПАТ «ВПОЛ». 2012. 618 с.
6. Вибранець Ю.М., Тарасюк І.Г. Методика розрахунку вертикального планування // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2000. № 409: Теорія і практика будівництва. С. 31–34.
7. Баран П.І. Методи вертикального планування для будівельних майданчиків // Вісник геодезії та картографії. 2011. № 6(75). С. 9–15.
8. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8. Воронеж. 2008. 66 с.
9. Иванова И.А., Чеканцев В.А. Решение геологических задач с применением программного пакета Surfer: практикум. Томск. 2008. 92 с.
10. Зуска А.В. Кинематическая модель оползневых склонов: монография / Национальный горный университет. Днепропетровск: НГУ. 2014. 140 с.

References

1. Batrakov, Yu.G. (1987). Geodezicheskie seti sgsuscheniya [Geodetic networks of condensation]. Moskva: Nedra. [in Russian].
2. Rudakov, L.M., & Napich, H.V. (2019). Suchasniy stan, dinamika zmin ta perspektivi rozvitku gidrotehnicnih melioratsiy u Dniproperetrovskiy oblasti [Modern state, dynamics of changes and prospects for the development of hydrotechnical reclamations in Dnipropetrovsk region]. Reclamation and water management, 1, 54–60. [in Ukrainian].
3. Panasyuk, Yu.A., & Lischinsky, A.G. (2011). Problemi upravlinnya meliorovanimi teritoriyami [Problems of Management of Reclaimed Territories]. Geodesy, Cartography and Aerial Photography, 75, 135–138. [in Ukrainian].
4. Meliorativni sistemi ta sporudi. [Reclamation systems and structures].(2000). DBN B.2.4-1-99. State building of Ukraine. Kiev. [Entered into force on 01.01.2000]. [in Ukrainian].
5. Baran, P.I. (2012). Inzhenerna geodeziya [Engineering geodesy]. Kiev: Vipol. [in Ukrainian].
6. Vibranets, Yu.M., & Tarasyuk, I.G. (2000). Metodika rozrahunku vertikalnogo planuvannya [Method of calculation of vertical planning]. Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic», 409, 31–34. [in Ukrainian].
7. Baran, P.I. (2011). Metodi vertikalnogo planuvannya dlya budivelnih maydanchikiv [Vertical planning methods for construction sites]. Bulletin of geodesy and cartography, 6(75), 9–15. [in Ukrainian].
8. Silkin, K.Yu. (2008). Geoinformatsionnaya sistema Golden Software Surfer 8 [Geographic Information System Golden Software Surfer 8]. Voronezh. [in Russian].
9. Ivanova, I.A., & Chekantsev, V.A. (2008). Reshenie geologicheskikh zadach s primeneniem programmnoho paketa Surfer [Solving geological problems using the Surfer software package]. Tomsk. [in Russian].
10. Zuska, A.V. (2014). Kinematischeeskaya model opolznevyih sklonov: monografiya [Kinematic model of landslide slopes: monograph]. Dnepropetrovsk: National Mining University. [in Russian].

Г. В. Гапич, А. В. Зуска

Вычисление объемов земляных работ для вертикальной планировки рельефа при проведении инженерно-мелиоративных мероприятий

Аннотация. Представлена актуальная проблема точности вычисления объема земляных работ, что позволяет уменьшить стоимость реализации проекта вертикальной планировки рельефа при проведении инженерно-мелиоративных мероприятий. Проанализированы учебные и научные публикации, где рассматриваются различные классические методы расчета объемов земляных масс. На основании аналитического обзора публикаций сформулирована задача – получить наиболее достоверные расчетные значения объема земляных работ с помощью автоматизированного метода определения. Реализован пример вычисления объема земляных масс для вертикальной

планировки с применением программного комплекса Surfer8, который является отраслевым стандартом построения графических изображений функций двух переменных и одной из лучших программ для построения трехмерных поверхностей и их обработки. Рассмотрена последовательность расчета объемов грунта для вертикальной планировки рельефа горизонтального и наклонного участков и определена относительная погрешность вычислений. Достоверность полученных значений объема оценивается сравнением результатов различными расчетными методами («Трапеции», «Симпсона», «Симпсона 3/8» и «квадратов») и по балансу «выемки-насыпи». Установлено, что относительная погрешность вычисленного объема земляных масс горизонтального и наклонного участков находится в пределах от 0,03–0,06%, а баланс земляных работ – 1,65–4,6%, что не превышает регламентированных стандартами 5,0%. Применение программы Surfer8 обосновывается уменьшением объема и продолжительности работ при составлении проекта вертикальной планировки и переносе его в натуру; экономичностью реализации в связи с меньшей относительной и допустимой погрешностью расчетов и измерений.

Ключевые слова: вертикальная планировка, объем земляных работ, сетка квадратов, цифровая модель поверхности.

H.V. Hapich, A.V. Zuska

Calculation of volume of excavation works for vertical planning of relief at engineering and reclamation activities

Abstract. The article presents the urgent problem of the accuracy of calculating the volume of excavation works, which allows reducing the cost of the project of vertical planning of the relief of the territory during the implementation of land reclamation measures. Educational and scientific publications are analyzed, where classical methods of calculating the volumes of earth masses are considered. The task was formulated to obtain the most reliable calculated values of the volume of excavation using an automated method of determination based on an analytical review of publications. An example of calculating the volume of earth masses for vertical planning was implemented using the Surfer8 software package, which is the industry standard for constructing graphic images of the functions of two variables and one of the best programs for constructing three-dimensional surfaces and processing them. Discusses the sequence of calculating the volume of soil masses for the vertical planning of the relief of the horizontal and inclined sections and determines the relative error of the calculations. The reliability of the obtained volume values was estimated by comparing the results with various calculation methods («Trapezium», «Simpson», «Simpson 3/8», and «Squares») and the balance of the «embankment». According to the calculation results, it was found that the relative error of the calculated volume of the horizontal and inclined sections is in the range from 0.03–0.06%, and the balance of excavation work is 1.65–4.6%, which does not exceed 5.0% regulated by standards. The advantages of using the Surfer8 program are justified by the reduction in the volume and duration of work during the preparation of the vertical planning project and its transfer to nature, as well as the cost-effectiveness of implementation due to the smaller relative and permissible error of calculations and measurements.

Key words: vertical planning, volume of excavation works, grid of squares, digital surface model.