

**Янчук О. Є., к.т.н., доцент, Трохимець С. М., ст. викладач, Панчук Ю. М., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Прохоренко М. В., к.ф.-м.н., доцент**, (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)

## **АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБЧИСЛЕННЯ ОБ'ЄМІВ ЗЕМЛЯНИХ МАС СПЕЦІАЛІЗОВАНИМИ ПРОГРАМНИМИ ЗАСОБАМИ**

Проаналізовано нормативні документи, що регламентують точність визначення об'ємів земляних робіт. Обрано 10 геометричних фігур, для яких розраховано еталонний об'єм за геометричними формулами. Обчислено об'єми цих фігур з використанням програмного забезпечення AutoCAD Civil 3D, GeoniCS, Digitals та ArcGis з використанням TIN та GRID способів представлення поверхонь. Наведено деякі рекомендації стосовно підвищення точності визначення об'ємів земляних мас.

**Ключові слова:** об'єм земляних мас; геометрична фігура; AutoCAD Civil 3D; GeoniCS; Digitals; ArcGis; TIN; GRID.

**Вступ.** Питання розрахунку балансу земляних мас в інженерній підготовці територій має істотне значення, оскільки території, повністю придатні для цілей містобудування за своїми природними умовами і одночасно достатні за розмірами, практично відсутні. І тому правильна методологія розрахунку балансу земляних мас дозволить оптимізувати виробничі процеси, та знизити витрати на земляні роботи для будівництва в цілому [6; 9].

Потреба у визначенні об'ємів земляних мас виникає у багатьох галузях народного господарства, а від правильності розрахунку залежить економічний ефект виконаної роботи. Основними з них є будівельні роботи, розробка родовищ корисних копалин, днопоглиблювальні роботи на водних об'єктах, роботи на промислових об'єктах для визначення об'ємів запасу матеріалів тощо [6; 8; 9].

**Постановка завдання.** Для розрахунку об'ємів земляних робіт можуть використовуватися різні спеціалізовані програмні засоби. Однак, досить часто, вони дають дещо відмінні результати. Складність та точність виконання розрахунків залежить від багатьох факторів – використовувані методи розрахунку та програмне забезпечення, рельєф території та використана модель його



представлення – TIN/GRID, крок розбиття; підтримка структурних ліній тощо. Тому метою даної роботи є аналіз точності обчислення об'ємів земляних мас у програмних продуктах AutoCAD Civil 3D, GeoniCS, Digitals та ArcGis.

**Аналіз досліджень.** Визначення об'ємів земляних мас регламентується будівельними нормами та державними стандартами, насамперед, у галузях будівництва та маркшейдерських робіт. Серед основних документів варто відмітити:

- Про затвердження Правил виконання маркшейдерських робіт під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин (Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України № 669 від 31.03.2021) [7];

- ДСТУ Б А.2.4-6:2009 Правила виконання робочої документації генеральних планів [3];

- ДСТУ Б Д.2.2-1:2012 «Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 1. Земляні роботи [4];

- ДБН А3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва [2].

Зокрема у [3] наведено вимоги до оформлення графічних документів, які використовуються при розрахунку обсягів земляних робіт – план організації рельєфу, план земляних мас. Крім того, наведено приклад оформлення відомості об'ємів земляних мас. У документах [2] та [4] наведено загальні правила до обчислення об'ємів робіт, наведено дані про необхідні пропорції споруд та коефіцієнти, які необхідно використовувати при роботі з різними типами ґрунтів.

Точність визначення об'ємів регламентується Правилами виконання маркшейдерських робіт під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин [7]. Зокрема об'єми вийнятих гірничих порід за даними маркшейдерських зйомок рекомендується визначати способами вертикальних і горизонтальних перерізів, тригранних призм та іншими способами, що забезпечують необхідну точність результату. Спосіб тригранних призм доцільно застосовувати, якщо для підрахунку об'ємів використовуються спеціалізовані комп'ютерні програми.

У цьому ж документі [7] наводяться вимоги до точності обчислень обсягів земляних мас залежно від виду робіт та об'єму об'єкта:

- розбіжності між результатами первинного (основного) та контрольного замірів (підрахунків) для видобутку корисної копалини і виймання розкривних порід на кар'єрах та залишків корисної копалини на складах залежно від об'єму визначається за табл. 1;

- у разі виконання контрольної зйомки складу різниця основного і контрольного визначень об'єму не повинна перевищувати значень, наведених у таблиці 1. При допустимій різниці двох незалежних визначень об'єму складу до обліку беруть його середнє значення.

- у процесі розробки розсипу щомісяця виконують зйомку тієї частини, що розробляється, з метою визначення об'єму вийнятої за звітний місяць гірської маси. Допустима похибка визначення об'єму вийнятих за один місяць порід не повинна перевищувати 6%.

Таблиця 1

Допустима відносна різниця двох незалежних визначень об'єму [7]

Об'єм складу, тис. куб. м	До 20	20–50	50–200	Понад 200
Допустима відносна різниця двох незалежних визначень, %	12	8	4	3

Питання точності визначення об'ємів досліджується і у науковій літературі. Так, у роботі [1] досліджується методика підрахунку об'ємів складів готової продукції бутощобеневої сировини. Для дослідження точності розглянуто окремий насип складу готової продукції з попередньо зробленою тахеометричною зйомкою. Визначення об'єму даного насипу проводилося чотирма способами. Найбільш близькими значеннями до еталонного були значення об'ємів, досягнуті способами розбиття на найпростіші геометричні фігури та способом вертикальних паралельних перерізів із відстанню між перерізами 5 м з відхиленням значень об'ємів відповідно 0,481 та 0,622%. Для підвищення точності підрахунку об'ємів автори рекомендують використовувати програмні продукти, зокрема AutoCAD Civil 3D.

Також важливим є питання порівняння об'ємів, обчислених на основі цифрових моделей рельєфу (ЦМР), отриманих з використанням різних методів інтерполяції. У роботі [5] досліджено точність визначення об'ємів у програмі ArcGis на основі регулярної ЦМР з квадратною елементарною коміркою (GRID) залежно від 10-ти розмірів комірки (0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 5, 10, 20 м) та п'яти методів інтерполяції (Inverse Distance to a Power (IDP); Kriging; Triangulation with Linear Interpolation (TLI); Nearest Neighbor (NN); Radial Basic Function (RBF)). У результаті тільки в методі TLI отримано похибку менше 5%. Найбільше відхилення об'єму отримано з використанням методу інтерполяції IDP (12%). Методи Kriging, NN та RBF дають відхилення у межах 8–9%. Отже, жоден з розглянутих



методів інтерполяції не дає змоги побудувати GRID, яка була б рівноцінна TIN-моделі, за винятком TLI. За зміни розмірів комірки від 5 см до 20 м відносна похибка для кожного методу інтерполяції змінюється у межах від 0,2 до 1,14%.

Таким чином, виходячи з виконаного аналізу літературних і нормативних джерел, залишається відкритим питання, щодо точності обчислення об'ємів земляних робіт залежно від використовованого програмного засобу та налаштувань обчислень.

### **Виклад основного матеріалу**

Автоматизований підрахунок об'єму насипу в програмі AutoCAD Civil 3D ґрунтується на визначенні об'єму між двома побудованими поверхнями. За даними тахеометричної зйомки обчислюються просторові координати пікетів зйомки, за якими програма будує дві поверхні за принципом триангуляції Делоне, в результаті чого отримана модель складається із тригранних призм. Об'єм моделі насипу відповідно буде дорівнювати сумі об'ємів всіх тригранних призм, які складають даний насип [1]. При розрахунку об'ємів зберігання на поверхні також можуть використовуватися метод усередненої площі та/або метод кінчної апроксимації [14].

Основним методом розрахунку об'ємів у програмі AutoCAD/GeoniCS є метод квадратів. Розмір сітки квадратів налаштовується вручну (мінімальний крок 1 м). Як додатковий доступний також метод призм.

У програмі Digitals для розрахунку об'ємів достатньо оконтурити нижню бровку контуру за зйомочними пікетами. В разі наявності всередині контуру пікетів з висотами буде здійснено розрахунок об'ємів за допомогою відповідної команди з меню ЦМР. Для підвищення точності розрахунку можна використовувати розрахунок об'ємів між двома поверхнями, які будуються у вигляді TIN або Grid [10].

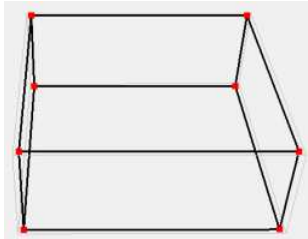
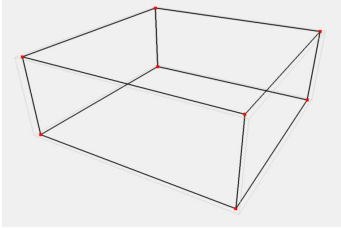
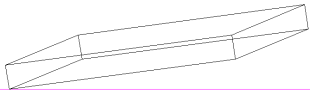
У програмному забезпеченні ArcGis також є можливість розрахунку об'єму між поверхнею та базовою площиною за допомогою команди з меню 3D Analyst – Об'єм для поверхні [13]. Крім того доступно два варіанти розрахунку об'ємів: через команду 3D Analyst – Різниця поверхонь (Surface Difference) [12] та через команду 3D Analyst – Насипи/Виїмки (Cut/Fill) [11]. Обидві призначені для розрахунку об'ємів між двома поверхнями, але перша підтримує обчислення для TIN та Terrain моделей, а друга – для растрових. Авторське право на математичний алгоритм визначення об'ємів належить компанії Esri і не розголошується [5].

Для того, щоб мати еталонні значення, з якими будемо порівнювати обчислені у програмах об'єми, використаємо правильні геометричні фігури, для яких можемо розрахувати об'єм за формулами геометрії (табл. 2).

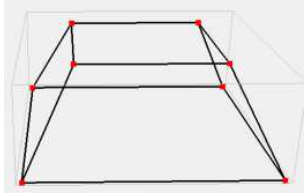
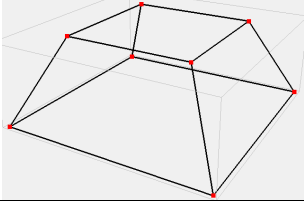

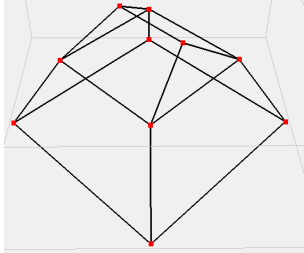
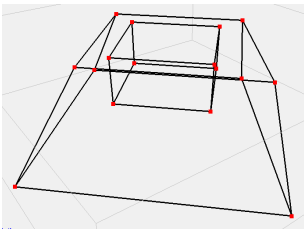
Виконано обчислення об'ємів земляних мас для наведених фігур у програмному забезпеченні GeoniCS, AutoCAD Civil 3D, Digitals та ArcGIS. Результати обчислень та відхилення від еталонних значень зведено у табл. 3.

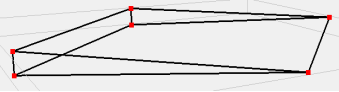
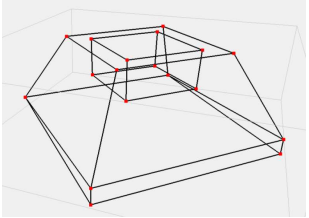
Таблиця 2

Геометричні фігури, обрані в якості еталонних

Опис	Вигляд
<p>1. Найпростішою фігурою буде прямокутний паралелепіпед з розміром сторін 100*100*10 метрів зі сторонами орієнтованими за осями X та Y. Для задання фігури використано 8 точок.</p> <p>Його об'єм становить:  <math>V=S*h= 100*100*10 = 100\ 000\ \text{м}^3</math></p>	
<p>2. Щоб перевірити, чи впливає на точність обчислень об'ємів у програмах орієнтація сторін, використаємо такий же прямокутний паралелепіпед, але сторони якого повернуті на 45° відносно осей X та Y. Відповідно його еталонний об'єм становить 100 000 м<sup>3</sup>. Для задання фігури використано 8 точок</p>	
<p>3. Третій варіант обчислень з прямокутним паралелепіпедом – нахил його на 10°, щоб його нижня і верхня грані були не горизонтальними. Його еталонний об'єм також становить 100 000 м<sup>3</sup>. Для задання фігури використано 8 точок</p>	

## продовження табл. 2

<p>4. Наступною досліджуваною фігурою обрано зрізану піраміду. Розмір основи 100*100 метрів, верхньої грані – 60*60 метрів. Висота 10 метрів. Сторони основи орієнтовані за осями X та Y. Для задання фігури використано 8 точок.</p> <p>її об'єм становить:</p> $V = \frac{h}{3}(S_{\text{н}} + S_{\text{в}} + \sqrt{S_{\text{н}}S_{\text{в}}}) =$ $\frac{10}{3}(10000 + 3600 + \sqrt{10000 \times 3600}) = 65\,333\text{ м}^3$	
<p>5. За аналогією – повернемо піраміду на 45° відносно осей X та Y. Відповідно її еталонний об'єм становить 65 333 м<sup>3</sup>. Для задання фігури використано 8 точок</p>	
<p>6. Наступною фігурою обрано косо усічену тригранну призму. Розмір основи 60*60 метрів, верхнього ребра – 40 метрів. Висота 5 метрів. Сторони основи повернуто на 45° відносно осей X та Y. Для задання фігури використано 6 точок.</p> <p>її об'єм становить:</p> $V = \frac{h}{6}(l_1 + l_2 + l_3) =$ $\frac{60 \times 5}{6}(60 + 40 + 60) = 8\,000\text{ м}^3$	
<p>7. Поєднаємо фігури 5 та 6. Її еталонний об'єм рівний сумі об'ємів фігур з пункту 5 та 6 та становить 73 333 м<sup>3</sup>. Для задання фігури використано 10 точок</p>	
<p>8. Наступною досліджуваною фігурою обрано зрізану піраміду з пункту 5, посередині якої викопано котлован. Розмір верхньої основи котловану 40*40 метрів, нижня основа – 39*39 метрів. Глибина 5 метрів. Сторони основи повернуто на 45° відносно осей X та Y</p>	

<p>Для задання фігури використано 16 точок.</p> <p>Об'єм котловану становить:</p> $V = \frac{h}{3}(S_{\text{н}} + S_{\text{в}} + \sqrt{S_{\text{н}}S_{\text{в}}}) =$ $\frac{h}{3}(1600 + 1521 + \sqrt{1600 \times 1521}) =$ $= 7802 \text{ м}^3.$ <p>Таким чином об'єм всієї фігури рівний об'єму піраміди мінус об'єм котловану та рівний 57531 м<sup>3</sup></p>	
<p>9. Наступною фігурою обрано тригранну призму з нахилою нижньою основою та сторонами, повернутими на 45° відносно осей X та Y. Розмір верхньої горизонтальної основи 100*100 метрів, висота – 2 метри. Сторони основи повернуто на 45° відносно осей X та Y. Для задання фігури використано 6 точок.</p> <p>Її об'єм становить:</p> $V = \frac{sh}{2} = \frac{10000 \times 2}{2} = 10000 \text{ м}^3$	
<p>10. Ускладнимо фігуру з пункту 8 нахиливши нижню грань. Для цього додамо в основі піраміди трикутну призму з пункту 9. Для задання фігури використано 18 точок.</p> <p>Об'єм фігури визначимо додавши до об'єму зрізаної піраміди (65333 м<sup>3</sup>) об'єм тригранної призми в основі піраміди (10000 м<sup>3</sup>) та віднявши об'єм котловану (7802 м<sup>3</sup>). Отже, об'єм фігури становить 67531 м<sup>3</sup></p>	

Таблиця 3

## Зведені результати обчислення об'ємів земляних мас

Фігура	Еталонний об'єм, м <sup>3</sup>	Об'єм земляних мас, розрахований у конкретному ПЗ, м <sup>3</sup> (відхилення від еталону, %)													
		AutoCAD/ GeoniCS				AutoCAD Civil 3D		Digitals				ArcGis			
		Метод квадратів		Метод призм		Civil 3D		TIN		GRID (комірка 1×1 м)		Surface Difference		Cut/Fill	
		м <sup>3</sup>	%	м <sup>3</sup>	%			м <sup>3</sup>	%	м <sup>3</sup>	%	м <sup>3</sup>	%	м <sup>3</sup>	%
Прямокутний паралелепіпед зі сторонами орієнтованими за осями X та Y	100000	100000	0.00	100000	0.00	100000	0.00	100000	0.00	102010	2.01	100000	0.00	100000	0.00
Прямокутний паралелепіпед, сторони якого повернуті на 45° відносно осей X та Y	100000	99998	0.00	99998	0.00	99998	0.00	99998	0.00	100820	0.82	99998	0.00	99999	0.00
Прямокутний паралелепіпед, грані якого нахилені на 10° відносно горизонту та повернуті на 45° відносно осей X та Y	100000	102945	2.95	97539	-2.46	97539	-2.46	97001	-3.00	98985	-1.02	97538	-2.46	97526	-2.47
Зрізана піраміда, зі сторонами орієнтованими за осями X та Y	65333	65644	0.48	65333	0.00	65333	0.00	65333	0.00	83040	27.10	65333	0.00	65335	0.00
Зрізана піраміда, сторони якої повернуті на 45° відносно осей X та Y	65333	65324	-0.01	65336	0.00	65336	0.00	65336	0.00	82358	26.06	65336	0.00	65339	0.01
Косо усічена призма, сторони якої повернуті на 45° відносно осей X та Y	8000	8002	0.03	8001	0.01	8001	0.01	8001	0.01	10495	31.19	8001	0.01	8001	0.01
Зрізана піраміда, що завершується косо усіченою призмою, зі сторонами повернутими на 45° відносно осей X та Y	73333	73327	-0.01	73337	0.01	73337	0.01	73337	0.01	96461	31.54	73337	0.01	73341	0.01
Зрізана піраміда, посеред якої викопано котлован, зі сторонами повернутими на 45° відносно осей X та Y	57531	57523	-0.01	57535	0.01	57535	0.01	57535	0.01	63810	10.91	57535	0.01	57547	0.03
Тригранна призма з нахиленою нижньою основою, зі сторонами повернутими на 45° відносно осей X та Y	10000	9998	-0.02	10000	0.00	10000	0.00	10000	0.00	10054	0.54	10000	0.00	10000	0.00
Зрізана піраміда (з нахиленою нижньою основою), посеред якої викопано котлован, зі сторонами повернутими на 45° відносно осей X та Y	67531	65820	-2.53	-	-	65859	-2.48	65860	-2.47	73850	9.36	65860	-2.47	65870	-2.46
Зрізана піраміда (з нахиленою нижньою основою), посеред якої викопано котлован, зі сторонами повернутими на 45° відносно осей X та Y – з використанням структурних ліній	67531	67475	-0.08	-	-	67531	0.00	67532	0.00	-	-	67532	0.00	67556	0.04





Серед основних проблем варто відмітити некоректну побудову поверхонь при нависаючих частинах фігури (третя розглянута фігура – прямокутний паралелепіпед, нахилений на  $10^\circ$  відносно горизонту). При намаганні побудувати верхню поверхню, включивши у неї всі точки – поверхня будується некоректно, TIN грані будуються між найближчими точками (рис. 1). Навіть з використанням структурних ліній та функцій редагування поверхні не вдалося побудувати коректну модель для випадку, коли верхня грань «нависає» над нижньою.

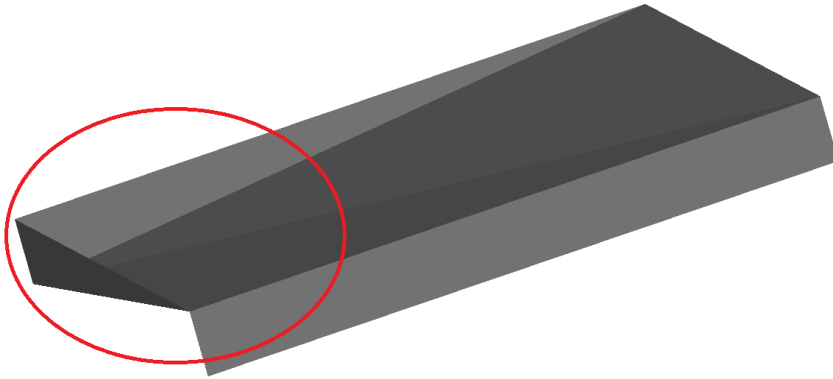


Рис. 1. Некоректна побудова тривимірної фігури при нависаючих частинах

Також значні похибки спостерігаються при обчисленні об'ємів у ПЗ DigitalS у випадку представлення поверхні у вигляді GRID. В окремих випадках поверхня будується абсолютно некоректно (рис. 2). Можна спробувати мінімізувати ці похибки, зменшуючи крок комірки та/або використовуючи структурні лінії.

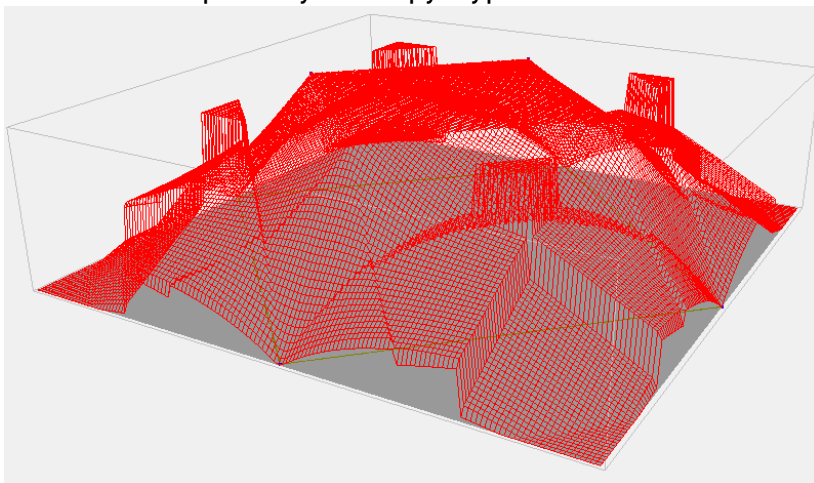


Рис. 2. Приклад некоректної побудови GRID поверхні у ПЗ DigitalS (зрізана піраміда за 8 точками)

**Висновки.** Виходячи з одержаних результатів не рекомендується використовувати для обчислень об'ємів методи, що ґрунтуються на GRID поверхнях, де відхилення можуть досягати 30%.

Всіма розглянутими програмними продуктами можна отримувати співставні за точністю результати в межах 0,05% – AutoCAD/GeoniCS (метод призм); AutoCAD Civil 3D; Digitals (на основі TIN поверхні); ArcGis (Surface Difference). Дещо гіршими (з відхиленнями до 0,5%) є AutoCAD/GeoniCS (метод квадратів) та ArcGis (Cut/Fill). Винятками є випадки з вертикальними відкосами або, коли верхня поверхня нависає над нижньою. Тоді відхилення можуть зростати до 3%.

У випадку вертикальних відкосів та різких перегинів рельєфу важливим є використання структурних ліній, що дозволило у понад 10 разів зменшити похибку обчислень.

У випадку нависаючих поверхонь варто розбивати об'єкт на окремі фігури та обчислювати об'єми кожної окремо або намагатися повернути об'єкт таким чином, щоб мінімізувати нависання. Можна рекомендувати перевертати фрагмент, у якому є нависаюча частина.

Похибки обчислених об'ємів збільшуються з ускладненням фігур. Тому рекомендується продовжити обчислення на складніших та криволінійних фігурах. Окремої уваги заслуговує питання дослідження частоти пікетних точок на криволінійних контурах.

1. Ващук О. М., Соболевський Р. В. Обґрунтування методики підрахунку об'ємів складів готової продукції бутощобеневої сировини. *Вісник ЖДТУ*. 2012. № 4(63). С. 174–182.
2. ДБН АЗ.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. URL: [https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2016/01/A315\\_Organizatsiya-budivelnogo-virobnitstva.pdf](https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2016/01/A315_Organizatsiya-budivelnogo-virobnitstva.pdf) (дата звернення: 14.07.2024).
3. ДСТУ Б А.2.4-6:2009. Правила виконання робочої документації генеральних планів. URL: [http://kyiv-heritage.com/sites/default/files/pictures/2020-05/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20%D0%91%20A.2.4-6%202009%20%D0%93%D0%B5%D0%BD%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%20\(%D0%B1%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%B0\).pdf](http://kyiv-heritage.com/sites/default/files/pictures/2020-05/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20%D0%91%20A.2.4-6%202009%20%D0%93%D0%B5%D0%BD%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%20(%D0%B1%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%B0).pdf) (дата звернення: 14.07.2024).
4. ДСТУ Б Д.2.2-1:2012. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 1. Земляні роботи. URL: [https://dnaop.com/html/59565/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_%D0%91\\_%D0%94.2.2-1\\_2012](https://dnaop.com/html/59565/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_%D0%91_%D0%94.2.2-1_2012) (дата звернення: 14.07.2024).
5. Лозинський В. А., Нікулішин В. І., Третяк К. Р., Шило Є. О. Методика визначення об'єму Львівського полігону твердих побутових відходів з використанням архівних картографічних матеріалів та БПЛА TRIMBLE UX-5. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2016. Вип. 83. С. 64–82.
6. Романчук С. В., Янчук Р. М. Методичні вказівки для виконання

розрахунково-графічної (самостійної) роботи з дисципліни «Геодезичне забезпечення землевпорядних та кадастрових робіт» студентами за напрямом підготовки 6.080101 «Геодезія, картографія та землеустрій». Рівне : НУВГП, 2013. 32 с. **7.** Про затвердження Правил виконання маркшейдерських робіт під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин : наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 31.03.2021 р. № 669. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0884-21#Text> (дата звернення: 14.07.2024). **8.** Розрахунок об'єму котлована, піску, ґрунту. URL: <https://geodez.com.ua/rozrahunok-obsyagu-kotlovanu-pisku-gruntu> (дата звернення: 14.07.2024). **9.** Гембарський Л. В., Стовпник С. М., Вапнічна В. В. Технологія, механізація та організація геотехнічного будівництва – 2. Технологія та організація геотехнічного будівництва : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Геоінженерія». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 160 с. **10.** Федоров Д. Digitals. Використання в геодезії, картографії та землеустрої. Вінниця : Аналітика, 2015. 354 с. **11.** ArcMap Cut/Fill. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/cut-fill.htm> (дата звернення: 14.07.2024). **12.** ArcMap Surface Difference. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/3d-analyst-toolbox/surface-difference.htm> (дата звернення: 14.07.2024). **13.** ArcMap Surface Volume. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/surface-volume.htm> (дата звернення: 14.07.2024). **14.** Autodesk Civil 3D About Surface Stage Storage Volume Calculation Methods. URL: <https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2024/ENU/?guid=GUID-5D4A56B4-2438-452B-BC75-DC9F0D82D7E8> (дата звернення: 14.07.2024).

## REFERENCES:

**1.** Vashchuk O. M., Sobolevskyi R. V. Obhruntuvannia metodyky pidrakhunku obiemiv skladiv hotovoi produktsii butoshchebenevoi syrovyny. *Visnyk ZhDTU*. 2012. № 4(63). S. 174–182. **2.** DBN A3.1-5:2016. Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva. URL: [https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2016/01/A315\\_Organizatsiya-budivelnogo-virobnitstva.pdf](https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2016/01/A315_Organizatsiya-budivelnogo-virobnitstva.pdf) (data zvernennia: 14.07.2024). **3.** DSTU B A.2.4-6:2009. Pravyla vykonannia robochoi dokumentatsii heneralnykh planiv. URL: [http://kyiv-heritage.com/sites/default/files/pictures/2020-05/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20%D0%91%20A.2.4-6%202009%20%D0%93%D0%B5%D0%BD%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%20\(%D0%B1%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%B0\).pdf](http://kyiv-heritage.com/sites/default/files/pictures/2020-05/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20%D0%91%20A.2.4-6%202009%20%D0%93%D0%B5%D0%BD%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%20(%D0%B1%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%B0).pdf) (data zvernennia: 14.07.2024). **4.** DSTU B D.2.2-1:2012. Resursni elementni koshtorysni normy na budivelni roboty. Zbirnyk 1. Zemliani roboty. URL: [https://dnaop.com/html/59565/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_%D0%91\\_%D0%94.2.2-1\\_2012](https://dnaop.com/html/59565/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_%D0%91_%D0%94.2.2-1_2012) (data zvernennia: 14.07.2024). **5.** Lozynskyi V. A., Nikulishyn V. I., Tretiak K. R., Shylo

Ye. O. Metodyka vyznachennia obiemu Lvivskoho polihonu tverdykh pobutovykh vidkhodiv z vykorystanniam arkhivnykh kartohrafichnykh materialiv ta BPLA TRIMBLE UX-5. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia*. 2016. Vyp. 83. S. 64–82. **6.** Romanchuk S. V., Yanchuk R. M. Metodychni vkazivky dlia vykonannia rozrakhunkovo-hrafichnoi (samostiinoi) roboty z dystsypliny «Heodezychne zabezpechennia zemlevporiadnykh ta kadastrovykh robit» studentamy za napriamom pidhotovky 6.080101 «Heodeziia, kartohrafiia ta zemleustrii». Rivne : NUVHP, 2013. 32 s. **7.** Pro zatverdzhennia Pravyl vykonannia marksheiderskykh robit pid chas rozrobky rodovyshch rudnykh ta nerudnykh korysnykh kopalyn : nakaz Ministerstva rozvytku ekonomiky, torhivli ta silskoho hospodarstva Ukrainy vid 31.03.2021 r. № 669. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0884-21#Text> (data zvernennia: 14.07.2024). **8.** Rozrakhunok obiemu kotlovana, pisku, gruntu. URL: <https://geodez.com.ua/rozrahunok-obsyagu-kotlovanu-pisku-gruntu> (data zvernennia: 14.07.2024). **9.** Hembarskyi L. V., Stovpnyk S. M., Vapnichna V. V. Tekhnolohiia, mekhanizatsiia ta orhanizatsiia heotekhnichnoho budivnytstva – 2. Tekhnolohiia ta orhanizatsiia heotekhnichnoho budivnytstva : navch. posib. dlia zdobuvachiv stupenia bakalavra za osvithoiu prohramoiu «Heoinzheneriia». Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2020. 160 s. **10.** Fedorov D. Digitals. Vykorystannia v heodezii, kartohrafiit ta zemleustroi. Vinnytsia : Analitika, 2015. 354 s. **11.** ArcMap Cut/Fill. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/cut-fill.htm> (data zvernennia: 14.07.2024). **12.** ArcMap Surface Difference. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/3d-analyst-toolbox/surface-difference.htm> (data zvernennia: 14.07.2024). **13.** ArcMap Surface Volume. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/surface-volume.htm> (data zvernennia: 14.07.2024). **14.** Autodesk Civil 3D About Surface Stage Storage Volume Calculation Methods. URL: <https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2024/ENU/?guid=GUID-5D4A56B4-2438-452B-BC75-DC9F0D82D7E8> (data zvernennia: 14.07.2024).

---

**Yanchuk O. Ye., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Trokhymets S. M., Senior Lecturer, Panchuk Yu. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Prokhorenko M. V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

## **ANALYSIS OF THE ACCURACY OF EARTHWORK VOLUME CALCULATIONS USING SPECIALIZED SOFTWARE**

**The regulatory documents governing the accuracy of earthwork volume determination were analyzed. The methodology and accuracy**

**of earthwork volume determination are regulated by building codes and state standards, primarily in the fields of construction and mine surveying.**

**Ten geometric figures were selected for which reference volumes were calculated using geometric formulas. The figures range from simple to complex shapes – rectangular parallelepiped, triangular prism, truncated pyramid, and their combinations. Additional variations were considered, including rotation of the faces relative to coordinate axes, inclination of the bottom face relative to the horizon, and the presence of a pit on the top surface of the truncated pyramid.**

**The volumes of these figures were calculated using AutoCAD Civil 3D, GeoniCS, Digital, and ArcGIS software, employing both TIN and GRID methods for surface representation. It was established that all the software products reviewed could yield comparable accuracy results, provided certain specifics are taken into account. For software that offers multiple methods for volume calculation, accuracy levels are provided for each method.**

**Some recommendations are provided for improving the accuracy of earthwork volume determination by using breaklines and working with overhanging surfaces. For overhanging surfaces, it is advisable to divide the object into separate figures and calculate the volume of each individually or try to rotate the object to minimize overhang. It may be recommended to invert the section containing the overhanging part.**

**Based on the results obtained, it is not recommended to use GRID-based surface methods for volume calculations, where deviations can reach up to 30%. These errors can be minimized by reducing the cell size and/or using breaklines.**

**All reviewed software products can yield comparable accuracy results within 0.05% – AutoCAD/GeoniCS (prism method); AutoCAD Civil 3D; Digital (based on TIN surfaces); ArcGIS (Surface Difference). Slightly lower accuracy (with deviations up to 0.5%) is seen with AutoCAD/GeoniCS (squares method) and ArcGIS (Cut/Fill). Exceptions include cases with vertical slopes or where the upper surface overhangs the lower surface, where deviations may increase to 3%.**

***Keywords:* earthwork volume; geometric figure; AutoCAD Civil 3D; GeoniCS; Digital; ArcGIS; TIN; GRID.**