

О.М. Ващук, асист.

Р.В. Соболевський, к.т.н., доц.

*Житомирський державний технологічний університет***ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ПІДРАХУНКУ ОБ'ЄМІВ СКЛАДІВ  
ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ БУТОЩЕБЕНЕВОЇ СИРОВИНИ**

*Досліджено та обґрунтовано методики підрахунку об'ємів складів готової продукції  
бутощобеневої сировини.*

**Вступ.** На точність визначення об'ємів впливає точність зйомки і точність камеральної обробки даних [1]. Значною мірою точність камеральних робіт залежить від точності польових робіт і їх методики [2]. Склади готової продукції булощобеневої сировини мають, як правило, досить складну форму, тому підвищення точності визначення їх об'ємів можна досягнути за допомогою зйомки сучасними приладами, такими як електронні тахеометри, лазерні сканери. Але, зважаючи на їх високу вартість, актуальним є пошук шляхів підвищення точності визначення об'ємів у камеральній обробці вихідних даних. Порівняння найбільш поширених способів обчислення об'ємів дасть змогу зробити висновок, який із них є оптимальним з точки зору точності, складності та затрат часу на його реалізацію. Пошук оптимальної методики підрахунку об'ємів складів готової продукції булощобеневої сировини є актуальною науковою задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** К.В. Нестеренко у своїй праці [3] досліджувала методику визначення об'ємів із використанням тривимірних лазерно-скануючих систем. Використання розроблених у даній роботі аналітичних моделей дозволяє скоротити час проведення наземної лазерно-скануючої зйомки і здійснювати зйомку в обраних режимах точності.

**Мета.** На основі порівняльного аналізу існуючих способів визначення об'ємів розробити методику підрахунку обсягів складів готової продукції булощобеневої сировини.

Нгун Тхе Конг у своїй роботі [4] розглядав побудову цифрових моделей рельєфу з прикладними інструментами, що реалізує розроблені алгоритми. Виконані аналізи популярних алгоритмів і експериментальні дослідження показали, що запропонований у його праці алгоритм побудови триангуляції Делоне є ефективним. Застосовані результати дослідження можна використати для розробки програми побудови цифрових моделей рельєфу.

О.В. Канжина у своїй праці [5] виконала аналіз достовірності розрахунків обсягів земляних робіт за наданою моделлю рельєфу місцевості. Обсяги земляних робіт з урахуванням рельєфу місцевості, порівняно з обсягами земляних робіт без урахування рельєфу місцевості, збільшилися в середньому на 25 %. Було запропоновано методику інженерних вишукувань із застосуванням сучасного обладнання для зйомки рельєфу місцевості на методах супутникової навігації із застосуванням геодезичних GPS.

М.Л. Рудаков у [2] висвітлює способи визначення об'ємів рудних та вугільних відвалів і складів готової продукції. Але слід зауважити, що наведені підходи не є зручними і доцільними для визначення об'ємів складів булощобеневої сировини. Дані способи реалізуються вручну і проблемі автоматизації визначення об'ємів приділено мало уваги.

Існуючі способи підрахунку об'ємів наведено в «Инструкции по маркшейдерскому учету объемов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом» [6] та «Инструкции по производству маркшейдерских работ» [7].

**Викладення основного матеріалу.** Склади готової продукції мають складну форму, об'єм якої з високою точністю визначити складно. До початку складування готової продукції на відкритих складах має бути виконане планування майданчика і його топографічна зйомка в масштабі не дрібніше 1:1000 з перерізом рельєфу через 0,25–0,50 м. При зйомці майданчика знімальні точки закріплюють з урахуванням їх довготривалого збереження.

У закритих складах мають бути обладнані місця, з яких зручно і безпечно виконувати виміри. На стінах й інших конструктивних елементах складу наносять поділки для визначення об'єму корисної копалини.

Залежно від складності форми відвалів корисної копалини на складах їх об'єм визначають за результатами виміру рулеткою або зйомки [7].

Згідно з чинною «Инструкции по производству маркшейдерских работ» [7] у разі виконання контрольної зйомки відвалу різниця основного і контрольного визначень об'єму не повинна перевищувати значень, наведених у таблиці 1.

*Таблиця 1**Різниця основного і контрольного визначень об'єму складу*

Об'єм відвалу, тис. м <sup>3</sup>	До 20	20–50	50–200	Більше 200
Допустима відносна різниця двох незалежних визначень, %	12	8	4	3

При допустимій різниці двох незалежних визначень об'єму відвалу до обліку приймають його середнє значення.

Процес визначення об'ємів складів готової бетонощелевеної сировини складається із польових і камеральних робіт. Точність камеральних робіт визначається способом підрахунку об'ємів. Для оцінки їх точності було розглянуто окремих насип складу готової гранпродукції фракції 40–70 мм з попередньо зробленою його тахеометричною зйомкою. Визначення об'єму даного насипу проводилося чотирма способами:

- за допомогою геоінформаційної програми AutoCAD Civil 3D 2012;
- способом вертикальних паралельних перерізів;
- способом розбиття насипу на правильні геометричні фігури;
- способом об'ємної палетки П.К. Соболевського.

Автоматизований підрахунок об'єму насипу в програмі AutoCAD Civil 3D 2012 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 (рис. 1, 2) [8], в результаті чого отримана модель (рис. 3) складається із тригранних призм (рис. 4, 5). І, таким чином, ми отримуємо тривимірну модель земної поверхні, що складається з усічених трикутних призм. Обсяг кожної призми обчислюється за формулою (1):

$$V = \frac{(A + B + C) \times S}{3}, \quad (1)$$

де  $A, B, C$  – висота ребер призми;  $S$  – площа основи призми (плоского трикутника).

Об'єм моделі насипу відповідно буде дорівнювати сумі об'ємів всіх тригранних призм, які складають даний насип.

Триангуляція задовольняє умові Делоне, якщо всередину кола, описаного навколо будь-якого побудованого трикутника, не потрапляє жодна із заданих точок триангуляції [8].

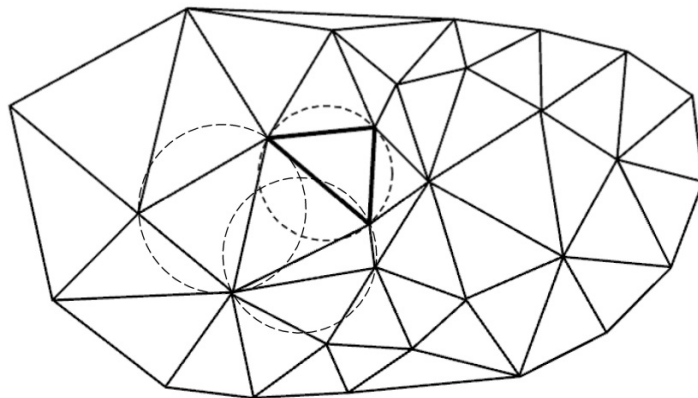


Рис. 1. Триангуляція Делоне

Триангуляція Делоне характеризується такими властивостями:

1. Триангуляцію Делоне можна отримати з будь-якої іншої за тією ж системою точок, послідовно перебудувавши пари сусідніх трикутників  $\triangle ABC$  і  $\triangle ACD$ , що не задовольняють умові Делоне, в пари трикутників  $\triangle ABD$  і  $\triangle BCD$ . Така операція перебудови також часто називається фліпом [8].

2. Має максимальну суму мінімальних кутів усіх своїх трикутників серед усіх можливих триангуляцій [8].

3. Має мінімальну суму радіусів кіл, описаних навколо трикутників, серед усіх можливих триангуляцій [8].

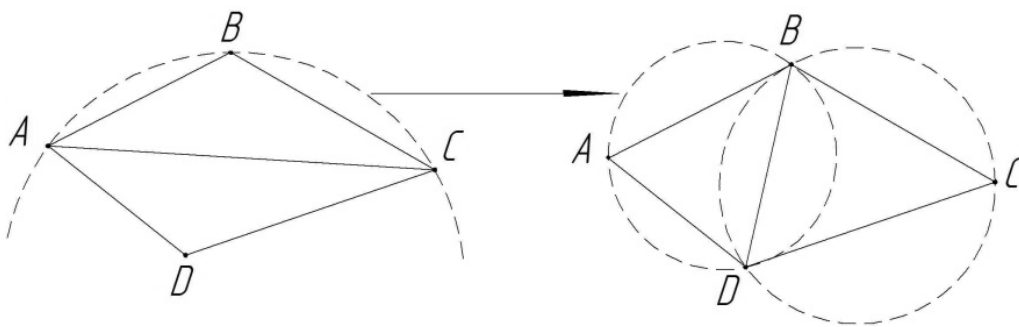


Рис. 2. Операція фліп

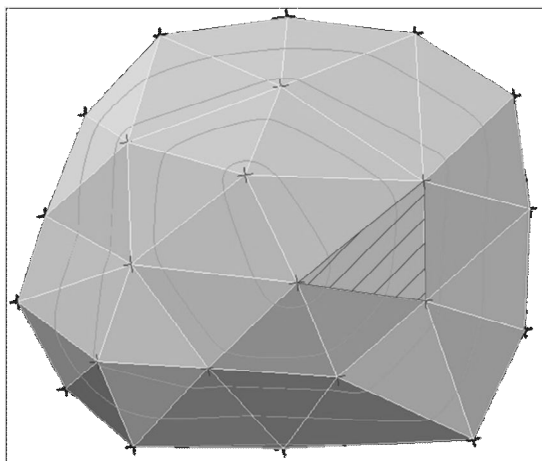


Рис. 3. Зображення насипу з окремо виділеною основою тригранної призми. Вигляд зверху

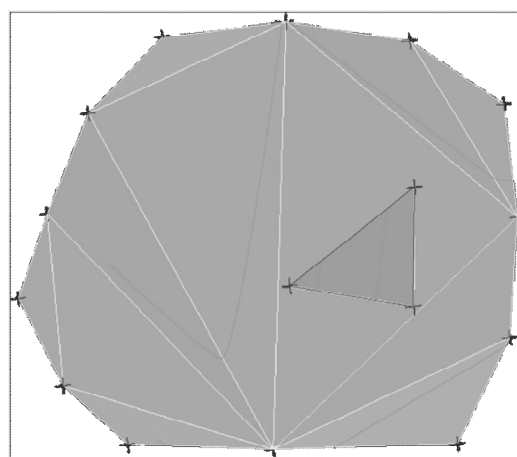


Рис. 4. Зображення верхньої основи тригранної призми на фоні нижньої поверхні. Вигляд зверху

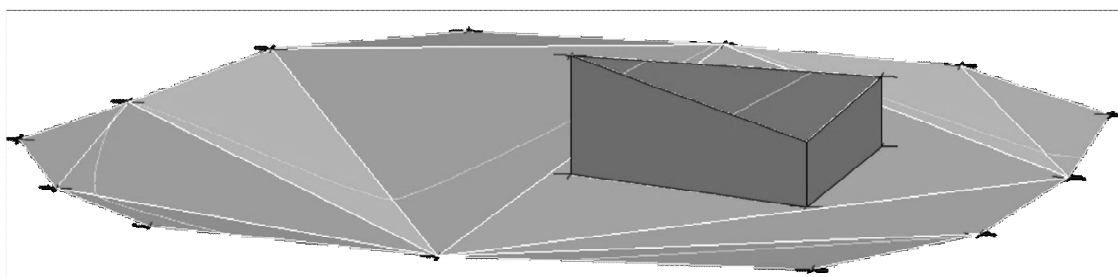


Рис. 5. Зображення об'ємної моделі тригранної призми

Для підвищення точності визначення істинного об'єму насипу потрібно знизити помилки тахеометричної зйомки.

Основною проблемою використання даного програмного забезпечення є її вартість і високі вимоги до професійного рівня фахівця.

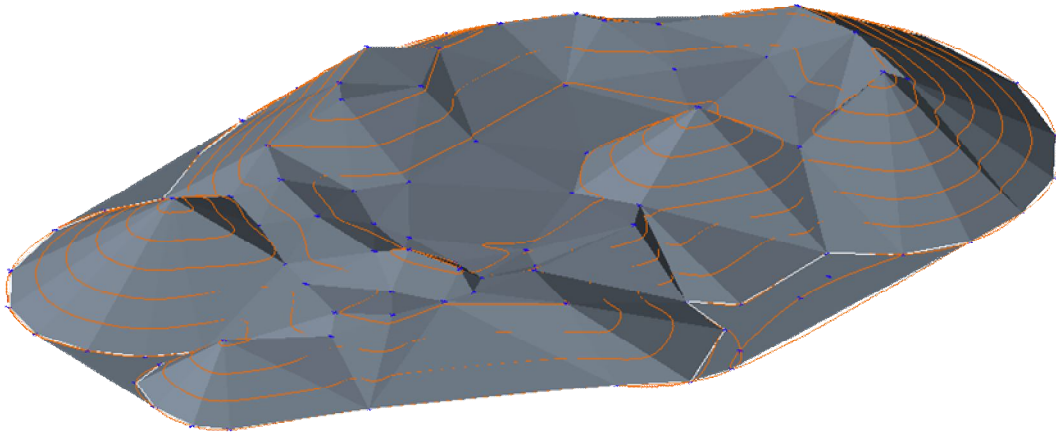


Рис. 6. Визначення об'єму насипу  
за допомогою програми AutoCAD Civil 3D 2012

Іншим, не менш перспективним, є спосіб вертикальних паралельних перерізів [9]. Автоматизація алгоритмізації даного способу є досить складною, тому в більшості ГІС даний спосіб не реалізований.

При способі вертикальних паралельних перерізів основним графічним матеріалом для підрахунку об'ємів є перерізи (рис. 6). Об'єми підраховуються окремо в кожному блоці між перерізами, а потім знаходиться сума об'ємів всіх блоків насипу. Спосіб вертикальних паралельних перерізів забезпечує найбільш правдоподібне перетворення об'єму насипу. Для обчислення сумарного об'єму блоків застосовують формулу (2), якщо площі перерізів приблизно рівновеликі [6]:

$$V = a \left( \frac{S_1 + S_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} S_i \right) \quad (2)$$

де  $S_1, S_2$  – площі перерізів,  $m^2$ ;  $a$  – відстань між перерізами,  $m$ ;  $n$  – кількість перерізів.

У тому разі, якщо площі суміжних перерізів мають подібні і близькі до ізометричних форми, але відрізняються за величиною більш ніж на 40 %, то використовують формулу (3) [2]:

$$V = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}}{3} a \quad (3)$$

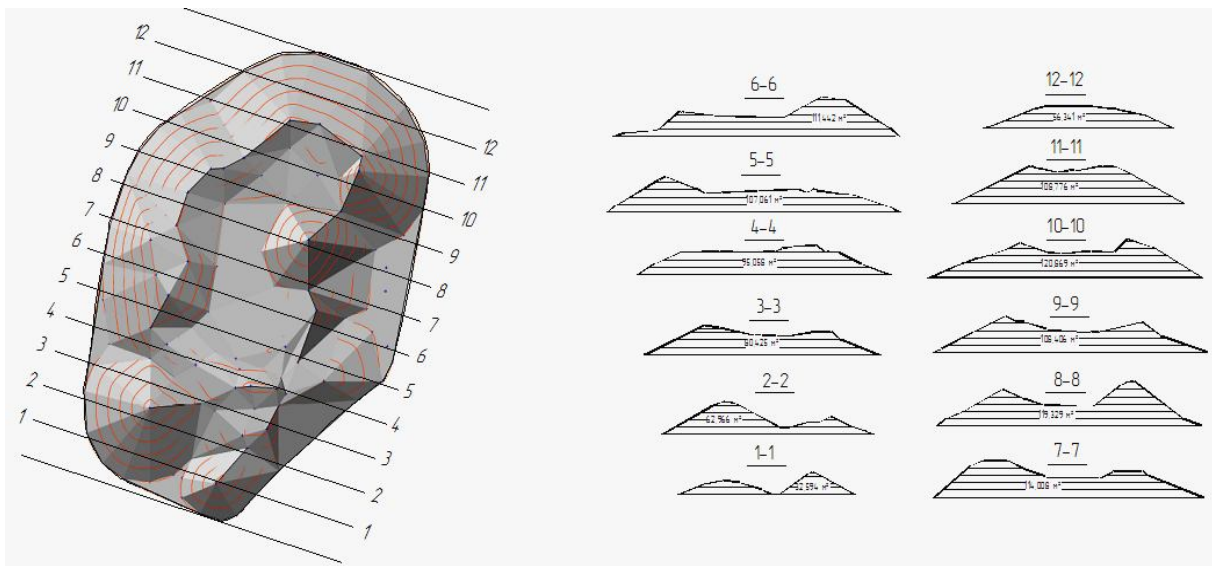


Рис. 7. Спосіб паралельних вертикальних перерізів

Об'єм тіла між суміжними непаралельними перерізами обчислюється за формулою (4) [6]:

$$V = \frac{\beta}{6\rho} [L_1(2 \cdot S_1 + S_2) + L_2(2 \cdot S_2 + S_1)] \quad (4)$$

де  $S_1, S_2$  – площі перерізів,  $m^2$ ;  $L_1, L_2$  – відстані від центра тяжіння відповідного перерізу до лінії перетину перерізів,  $m$ ;  $\beta$  – кут між перерізами;  $\rho = 57,3$  – кількість градусів у радіані.

При використанні даного способу підрахунку об'ємів постає проблема обчислення об'єму крайніх блоків насипу. У такому випадку потрібно окремо розглядати кожний крайній блок і залежно від його форми обчислювати його об'єм за відповідними формулами.

В результаті виконаних досліджень при визначенні об'єму насипу готової продукції щебеню фракції 40–70 мм за допомогою вертикальних паралельних перерізів були складені порівняльні таблиці 2 і 3 та графік зміни величини відхилення у відсотках від відстані між вертикальними паралельними перерізами (рис. 7).

Таблиця 2

Порівняльна таблиця об'ємів з відстанню між перерізами через 5 і 10 м

№ з/п	Площа перерізу, $m^2$	Об'єм між перерізами, $m^3$					
		через 5 м			через 10 м		
	0	–	39,246	34,332	–	39,25	34,332
1	32,594	234,771	358,478		547,3944678		
2	62,966						
3	80,425	438,708	505,298			937,43	
4	95,058						
5	107,061	546,258	563,625		1105,345		
6	111,442						
7	114,008	583,343	569,338			1112,07	
8	119,329						
9	108,406	573,188	574,113		1085,91		
10	120,869						
11	108,776	405,670	165,515			592,75	
12	56,341						
	0	–					
$\Sigma\Sigma V (m^3)$			5591,883			5454,481	

Таблиця 3

Порівняльна таблиця об'ємів з відстанню між перерізами через 15 і 20 м

№ з/п	Площа перерізу, $m^2$	Об'єм між перерізами, $m^3$					
		через 15 м			через 20 м		
	0	–	39,25	34,332	–	39,25	34,332
1	32,594	916,572794			1324,849		
2	62,966						
3	80,425		1567,995			2154,67	
4	95,058						
5	107,061	1761,5775					
6	111,442						
7	114,008		886,05		1235,603		
8	119,329						
9	108,406	165,515				165,515	
10	120,869						
11	108,776						
12	56,341						
	0						
$\Sigma V (m^3)$			5371,292			4954,22	

У таблиці 2 вказано підраховані об'єми за допомогою паралельних вертикальних перерізів через 5 і 10 м, а в таблиці 3 – через 15 і 20 м.

Підрахувавши об'єм насипу готової продукції фракції 40–70 мм способом вертикальних паралельних перерізів, можна зробити висновок, що найбільш близьким значенням до еталонного було досягнуто за допомогою перерізів через 5 м з відхиленням 0,622 %. Згідно з графіком, можна побачити, що залежність величини відхилення від величини відстані між перерізами до 15 м є майже лінійною, потім прослідковується стрімке збільшення відхилення.



Рис. 8. Зміна величини відхилення від відстані між вертикальними перерізами

Підрахунок об'ємів способом об'ємної палетки П.К. Соболевського використовується у багатьох геоінформаційних системах. Простота алгоритмізації і висока точність є основними і вагомими перевагами даного способу для його використання у програмному забезпеченні.

Суть способу об'ємної палетки П.К. Соболевського полягає в тому, що тіло корисної копалини, зображене ізопотужностями, за допомогою квадратної палетки розчленовують на ряд вертикальних косозрізаних призм з однаковими квадратними основами (рис. 8, а). Об'єм кожної призми дорівнює добутку площі її основи на середню висоту [7].

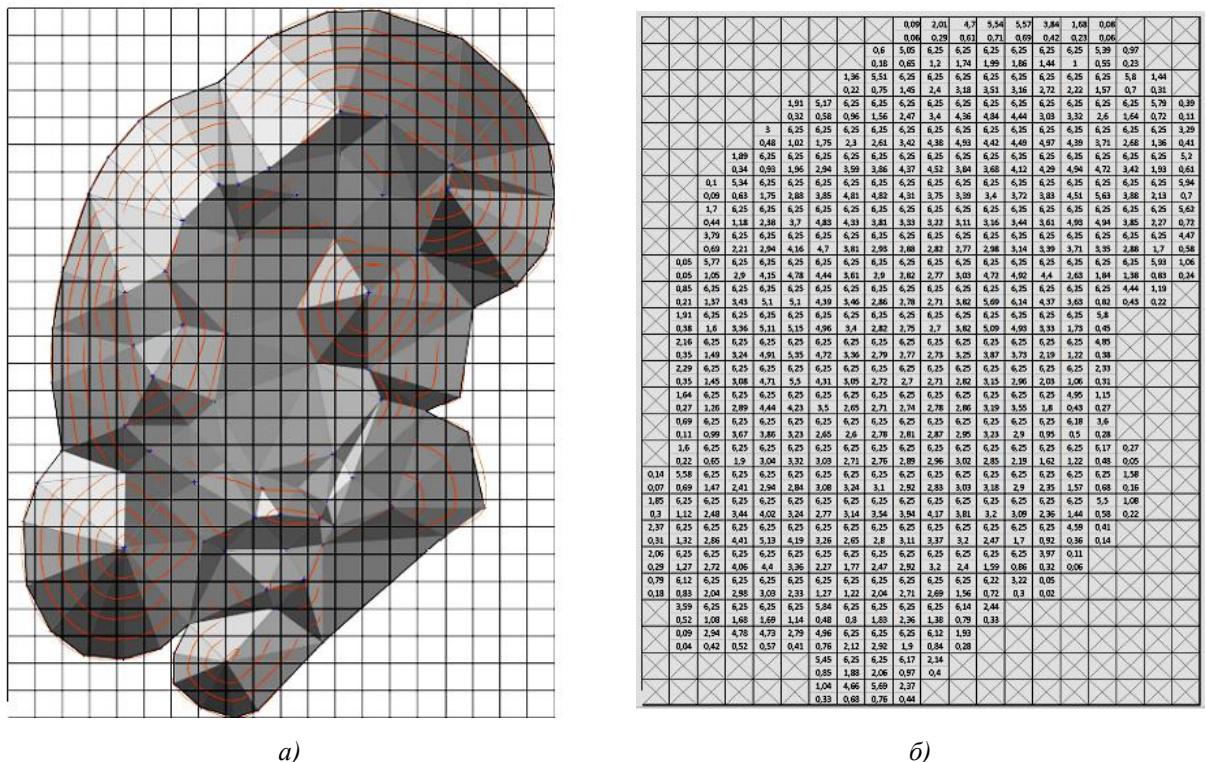


Рис. 9. Спосіб об'ємної палетки П.К. Соболевського

Наприклад, насип зображений ізопотужностями. На зображення довільно накладають тяжіє ділянка тіла – призма з вже відомою площею основи, а середня висота дорівнює вертикальній потужності тіла в центрі основи призми.

Для обчислення об'єму всього тіла досить додати висоти призм і їх суму помножити на площу квадрата.

Якщо по краях насип займає площу не цілого квадрата, а, наприклад, його половину, то потрібно порахувати кількість таких не цілих квадратів і потім значення об'єму помножити на 0,5. На рисунку 8, б можна побачити, що в крайніх квадратах палетки площа визначена, а не є сталою.

Способом об'ємної палетки П.К. Соболевського об'єми обчислюють за формулою (5) [6]:

$$V = S \sum_{i=1}^n h_i \quad (5)$$

де  $S$  – площа прямокутника палетки;  $n$  – кількість прямокутників у межах контуру підрахунку насипу;  $h_i$  – позначка насипу у вершині прямокутника.

При використанні способу об'ємної палетки П.К. Соболевського було використано палетку зі стороною квадрата 5 та 2,5 м. Об'єми при використанні обох палеток мають такі значення:

- 5 м – 5803,010 м<sup>3</sup> з відхиленням 3,13 %;
- 2,5 м – 5676,910 м<sup>3</sup> з відхиленням 0,89 %.

З наведених вище результатів можна зробити висновок, що зменшивши площу квадрата в 4 рази, зменшилося відхилення на 2,24 % і становить 0,89 %. Але разом з цим об'єм камеральних робіт збільшився в 4 рази.

Більш трудомістким є підрахунок об'ємів способом розбиття об'ємної моделі на найпростіші фігури [7]. Суть даного способу полягає в наступному. Тіло розбивають на правильні геометричні фігури (паралелепіпед, конус, зрізаний конус, клин, півсфера, косо зрізана призма, піраміда) і знаходять об'єм кожної фігури окремо вже за відомими формулами [10].

Потім знаходять суму об'ємів всіх окремих фігур. Це і буде значення об'єму тіла.

При підрахунку об'єму даним способом насип було розбито на окремі фігури. Об'єм кожної було обчислено окремо (рис. 9). Сума об'ємів всіх фігур дала значення об'єму насипу.

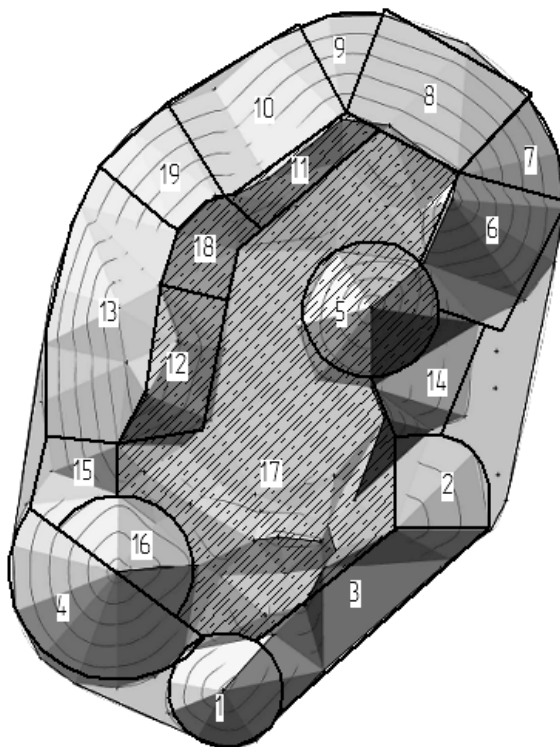


Рис. 10. Розбиття насипу на правильні геометричні фігури

Підраховавши об'єм кожної фігури, окремо було визначено сумарний об'єм насипу – 5599,87 м<sup>3</sup>. Відхилення отриманого значення об'єму від еталонного становить 0,481 %. За допомогою даного способу було визначено об'єм насипу, найбільш точно відносно еталонного.

**Висновок.** Результати отриманих розрахунків наведено в порівняльній таблиці 4.

Таблиця 4

Порівняльна таблиця об'ємів

	Спосіб	Об'єм, м <sup>3</sup>	Відхилення, %
AutoCAD Civil 3D 2012 (кількість)	97	5626,91	–
	87	5579,18	-0,848

пакетів)	77		5455,14	-3,053
Спосіб паралельних вертикальних перерізів	через	5 м	5591,883	-0,622
		10 м	5454,481	-3,064
		15 м	5371,292	-4,543
		20 м	4954,22	-11,955
Розбиття на найпростіші фігури			5599,87	-0,481
Спосіб об'ємної палетки П.К. Соболевського	сторона квадрата	5,0 × 5,0	5803,01	+3,130
		2,5 × 2,5	5676,91	+0,889

Для підвищення точності підрахунку об'ємів слід використовувати програмні продукти. В реалізованих у програмному забезпеченні способах можна змінювати, наприклад, крок палетки, відстань між перерізами, досягаючи таким чином підвищення визначення об'єму, чого не можна досягти визначаючи той же об'єм за допомогою графічних побудов виконаних вручну. При використанні програмного забезпечення також зникають помилки викликані людським фактором.

Аналіз наведених даних показав, що 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 %. Найменш точними виявилися способи вертикальних паралельних перерізів через 20 м з відхиленнями у -11,955 %. Отже для підрахунку об'ємів складів готової гранпродукції доцільно використовувати на даний момент спосіб розбиття на найпростіші геометричні фігури та спосіб вертикальних паралельних перерізів з відстанню між перерізами 5 м або частіше.

#### Список використаної літератури:

1. *Оглоблин М.Л.* Маркшейдерское дело : учебник / *М.Л. Оглоблин, Г.И. Герасименко, А.Г. Акимов.* – 3-е изд., перераб. – М. : Недра, 1981. – 704 с.
2. *Рудаков М.Л.* Маркшейдерские работы при открытых разработках / *М.Л. Рудаков.* – М. : Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1950. – 344 с.
3. *Нестеренко Е.А.* Методика съемки карьеров, отвалов и складов на основе применения трехмерных лазерно-сканирующих систем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 25.00.16 «Горнопромышленная и нефтегазопромышленная геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр» / *Е.А. Нестеренко.* – СПб., 2010. – 20 с.
4. *Нгуен Тхе Конг.* Исследование и разработка высокопроизводительного алгоритма построения цифровых моделей рельефа : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 25.00.35 «Геоинформатика» / *Нгуен Тхе Конг.* – СПб., 2011. – 23 с.
5. *Канжина О.В.* Совершенствование методики инженерных изысканий линейных объектов дорожного строительства : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 25.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» / *О.В. Канжина.* – СПб., 2001. – 18 с.
6. Инструкция по маркшейдерскому учету объемов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом. Серия 07. Вып. 13. – Утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 06.06.03 № 74, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 17.06.03. – М. : Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. – 26 с.
7. Инструкция по производству маркшейдерских работ. – Утверждена постановлением Госгортехнадзора СССР 20.02.1985. – М. : Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела, 1987. – 241 с.
8. *Скворцов А.В.* Триангуляция Делоне и ее применение / *А.В. Скворцов.* – Томск : Изд-во Томского университета, 2002. – 128 с.
9. *Борщ-Компонице В.И.* Маркшейдерское дело : учебник / *В.И. Борщ-Компонице, А.М. Навитный, Г.М. Кныш.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1985. – 397 с.
10. *Синянин Р.Р.* Маркшейдерское дело : учебник / *Р.Р. Синянин.* – М., 1982. – 303 с.



ВАЩУК Олексій Миколайович – асистент кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- маркшейдерське забезпечення відкритої розробки родовищ нерудної будівельної сировини;
- автоматизація камеральних робіт у маркшейдерській справі.

СОБОЛЕВСЬКИЙ Руслан Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, заступник завідувача кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- маркшейдерія;
- технологія видобування декоративного каменю.

Стаття надійшла до редакції 05.11.2012