

УДК 528.42:622.1

**І.Ф. Гарасимчук, І.С. Тревого, С.Г. Власенко, В.І. Муха**  
 Національний університет “Львівська політехніка”

## **ВПЛИВ ПОХИБОК ПЛАНОВОГО ХАРАКТЕРУ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМІВ ҐРУНТУ**

© Гарасимчук І.Ф., Тревого І.С., Власенко С.Г., Муха В.І., 2001

**Рассмотрен вопрос влияния погрешностей планового характера на точность определения объемов грунта. Установлено, что плановые погрешности, особенно систематические, могут значительно влиять на точность определения объемов. Указаны пути уменьшения их влияния.**

**The problem of influence of the plane errors on the accuracy of the determination of the volume of soil was considered. It was established that plane errors (especially systematic) may considerably influence on the accuracy of the determination of the volumes. The ways of their decrease were indicated.**

Визначенням об'ємів геодезістам доводиться займатися дуже часто під час будівництва земляних споруд, добуванні корисних копалин відкритим способом, їх складуванні, вертикальному розплануванні територій тощо. На нашу думку, найефективніший і економічний на даний час є метод електронного тахеометричного знімання [2]. Він дає змогу за короткий термін визначати об'єм, потребує мінімальної кількості пунктів геодезичної основи, із яких виконуються спостереження, дозволяє розміщувати їх за межами споруди, що, у свою чергу, забезпечує їх стабільність і довговічність та можливість проведення спостережень під час інтенсивного будівництва споруди.

Застосування сучасних електронних тахеометрів та засобів радіозв'язку дозволяє значно збільшити площу знімання з однієї станції, зменшити кількість виконавців та затрати часу на виконання польових робіт.

Для однозначності та підвищення точності визначення об'єму насипаного ґрунту нами запропоновано, щоб площа, на якій буде, наприклад, проводитись відсіпка ґрунту, знаходилася в межах фіксованого прямокутника, а планове та висотне положення пікетних точок, які знаходяться на кутах та сторонах цього прямокутника (визначені в першому циклі спостережень), були незмінними. Таким чином ми забезпечимо однозначність визначення площі знімання, тобто ліквідуємо вплив похибки визначення площі на точність визначення об'єму. Але, в такому випадку необхідно знати, як будуть впливати помилки визначення планового положення пікетних точок самої споруди на точність визначення об'єму.

Щодо точності визначення об'ємів, то, згідно з інструкцією [1], допустиму похибку у визначенні об'єму ґрунту у відсотках обчислюють за формулою:

$$m_{V_{\text{дон}}} = \frac{1500}{\sqrt{V}} \% , \quad (1)$$

де  $V$  – об'єм вийнятих порід, приведених до сконсолідованого.

При цьому, якщо  $V \geq 2\,000\,000 \text{ м}^3$ , то  $m_{V_{\text{дон}}} \leq 1\%$ , а при  $V \leq 200\,000 \text{ м}^3$  –  $m_{V_{\text{дон}}} \leq 10\%$ .

Розрахуємо за формулою (1) допустиму похибку у визначенні об'єму ґрунту.

Таблиця 1

**Допустимі похибки  $m_{V_{\text{дон.}}}$  (у %), обчислені за формулою (1)**

Площа споруди	Середня висота насипаного ґрунту, м.									
	1	2	4	6	8	10	15	20	25	30
2 500	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,49	7,75	6,71	6,00	5,48
10 000	10,00	10,00	7,50	6,12	5,30	4,74	3,87	3,35	3,00	2,74
40 000	7,50	5,30	3,75	3,06	2,65	2,37	1,94	1,68	1,50	1,37
90 000	5,00	3,54	2,50	2,04	1,77	1,58	1,29	1,12	1,00	0,91
160 000	3,75	2,65	1,88	1,53	1,33	1,19	0,97	0,84	0,75	0,68
200 000	3,35	2,37	1,68	1,37	1,19	1,06	0,87	0,75	0,67	0,61
240 000	3,06	2,17	1,53	1,25	1,08	0,97	0,79	0,68	0,61	0,56
320 000	2,65	1,88	1,33	1,08	0,94	0,84	0,68	0,59	0,53	0,48
400 000	2,37	1,68	1,19	0,97	0,84	0,75	0,61	0,53	0,47	0,43
600 000	1,94	1,37	0,97	0,79	0,68	0,61	0,50	0,43	0,39	0,35

З табл. 1 видно, що точність визначення об'єму залежить як від площі фігури, так і від висоти насипаного ґрунту, і чим більша площа знімання, тим точніше необхідно визначати сам об'єм.

Такий підхід до регламентації точності, на нашу думку, не показовий.

Якщо вважати, що площа знімання незмінна від першого циклу спостережень до останнього, то похибка у визначенні об'єму буде залежати, в основному, тільки від помилки визначення висоти. Тому виразимо допустимі похибки, наведені в табл. 1, через помилки визначення висоти. Для цього використаємо формулу для визначення об'єму в окремому циклі спостережень:

$$V = S h_{\text{сер}} , \quad (2)$$

де  $S$  – площа знімання,  $h_{\text{сер}}$  – середня висота ґрунту над умовно прийнятою рівневою поверхнею.

Продиференціюємо формулу (2) по висоті і, переходячи до помилок, отримаємо

$$m_{V_h} = S m_{h_{\text{сер}}} , \quad (3)$$

де  $m_{V_h}$  – похибка визначення об'єму ґрунту через похибку визначення середньої висоти,  $m_{h_{\text{сер}}}$  – похибка визначення середньої висоти.

Звідси

$$m_{h_{\text{сер}}} = \frac{m_{V_h}}{S} . \quad (4)$$

З урахуванням (1) формулу (4) можна записати у вигляді

$$m_{h_{\text{сер}}} = \frac{m_{V_{\text{дон.}}} \cdot V}{100\%S} = m_{V_{\text{дон.}}} \cdot h_{\text{сер}} . \quad (5)$$

Виконаємо розрахунок допустимих похибок у визначенні середньої висоти насипаного ґрунту в окремому циклі спостережень за формулою (5). Результати обчислень занесемо в табл. 2.

Таблиця 2

**Допустимих похибки визначення висот пікетних точок у см**

Площа споруди	Середня висота насипаного ґрунту, м									
	1	2	4	6	8	10	15	20	25	30
2 500	10,0	20,0	40,0	60,0	80,0	94,9	116,2	134,2	150,0	164,3
10 000	10,0	20,0	30,0	36,7	42,4	47,4	58,1	67,1	75,0	82,2
40 000	7,5	10,6	15,0	18,4	21,2	23,7	29,0	33,5	37,5	41,1
90 000	5,0	7,1	10,0	12,2	14,1	15,8	19,4	22,4	25,0	27,4
160 000	3,8	5,3	7,5	9,2	10,6	11,9	14,5	16,8	18,8	20,5
200 000	3,4	4,7	6,7	8,2	9,5	10,6	13,0	15,0	16,8	18,4
240 000	3,1	4,3	6,1	7,5	8,7	9,7	11,9	13,7	15,3	16,8
320 000	2,7	3,8	5,3	6,5	7,5	8,4	10,3	11,9	13,3	14,5
400 000	2,4	3,4	4,7	5,8	6,7	7,5	9,2	10,6	11,9	13,0
600 000	1,9	2,7	3,9	4,7	5,5	6,1	7,5	8,7	9,7	10,6

Як бачимо з табл. 2, величини допустимих похибок у визначенні висот пікетних точок зростають із збільшенням висоти насипаного ґрунту, а із збільшенням площі знімання – зменшуються. Такий підхід до вимог точності визначення об'єму на нашу думку не має під собою підстав тому, що похибка у визначенні висот повинна не перевищувати якоїсь певної величини, незалежно від висоти відсипаного ґрунту.

З іншого боку, визначення середньої висоти відсипаного ґрунту з точністю (наприклад, для площі 600000 м<sup>2</sup> та висоти 1 м) практично неможливе тому, що її величина залежить не тільки від точності тригонометричного нівелювання, а й від багатьох інших чинників. Крім того, необхідно враховувати, що об'єм насипаного ґрунту визначають як різницю об'ємів між початковим та виконаним циклами спостережень, тому допустима похибка у визначенні об'єму в одному циклі спостережень буде в  $\sqrt{2}$  рази меншою за наведену в табл. 2.

На точність визначення об'єму впливає багато похибок як систематичного, так і випадкового характеру.

Про вплив основних похибок на точність визначення об'єму, пов'язані з визначенням висот точок поверхні, детально розглянуто в [2].

Розглянемо, як впливають похибки планового характеру на точність визначення об'єму ґрунту.

Формулу (2) перепишемо у вигляді

$$V = a \cdot b \cdot h_{\text{сеп}}, \quad (6)$$

де  $a$  і  $b$  – сторони прямокутника.

Продиференціюємо формулу (6) за параметрами  $a$  і  $b$  і, переходячи до похибок, отримаємо:

$$m_{V_S} = b \cdot h_{cep} \cdot m_a + a \cdot h_{cep} \cdot m_b. \quad (7)$$

Якщо прийняти, що  $m_a = m_b = m$ , то формула (7) буде мати вигляд

$$m_{V_S} = h_{cep} \cdot m \cdot (a + b). \quad (8)$$

Якщо перейти до відносної похибки визначення об'єму у відсотковому відношенні до самого об'єму за рахунок похибки визначення планового положення кутів прямокутника, то формулу (8) можна записати у вигляді

$$\frac{m_{V_S}}{V} 100\% = \frac{h_{cep} \cdot m \cdot (a + b)}{V} 100\% = \frac{m \cdot (a + b)}{a \cdot b} 100\% = m \left( \frac{1}{b} + \frac{1}{a} \right) 100\%. \quad (9)$$

Виконаємо розрахунок відносної похибки у визначенні об'єму за рахунок похибки у визначенні площі фіксованого прямокутника. Прийmemo, що похибка визначення сторони прямокутника  $m = 0,10$  м. Результати наведені в табл. 3.

Як бачимо, навіть така незначна похибка у визначенні координат кутів прямокутної основи призводить до значних похибок у визначенні об'єму ґрунту. Крім того, похибка навіть для однакової площі різна і залежить від форми прямокутника. Найменшою вона є, коли прямокутник має форму квадрата.

Але, якщо ми приймаємо площу основи, на якій будуть відсипати тіло споруди, незмінною під час усіх циклів спостережень, а об'єм відсипаного ґрунту будемо знаходити як різницю об'ємів між двома циклами спостережень, то похибка  $m_{V_S}$ , навіть значна, не вплине на об'єм відсипаного ґрунту, тому що вона буде присутня у двох циклах спостережень і при знаходженні різниці об'ємів ліквідується.

Таблиця 3

**Похибки у визначенні об'єму ґрунту (у %) за рахунок похибок визначення площі споруди**

Сторона $a$ , м	Сторона $b$ , м										
	20	40	60	80	100	150	200	250	300	500	1000
20	1,00	0,75	0,67	0,63	0,60	0,57	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51
40	0,75	0,50	0,42	0,38	0,35	0,32	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26
60	0,67	0,42	0,33	0,29	0,27	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18
80	0,63	0,38	0,29	0,25	0,23	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14
100	0,60	0,35	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11
150	0,57	0,32	0,23	0,19	0,17	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
200	0,55	0,30	0,22	0,18	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06
250	0,54	0,29	0,21	0,17	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
300	0,53	0,28	0,20	0,16	0,13	0,10	0,08	0,07	0,07	0,05	0,04
350	0,53	0,28	0,20	0,15	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
400	0,53	0,28	0,19	0,15	0,13	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04

Нами, на реальному матеріалі, виконані розрахунки впливу похибок вихідного дирекційного кута та похибок визначення планового положення пункту, із якого ведуться спостереження на точність визначення об'єму. Проведено моделювання об'єкта (його нахилили як по осі X, так і по осі Y). Крім того, досліджували вплив похибок планового характеру на споруди різної форми та розмірів.

Виявлено, що якщо тіло споруди будується на рівній поверхні, а спостереження виконуються з одного пункту, то систематичними похибками за планове положення пікетних точок можна нехтувати.

Якщо спостереження виконуються з декількох точок планової основи, то похибка  $m_{V_S}$  може бути значною.

Вплив випадкових похибок визначення планового положення пікетних точок при збільшенні пікетних точок – зменшується.

При нахиленій площині основи вплив похибок систематичного характеру на похибку визначення об'єму  $m_{V_S}$  може бути значним (близько 1 – 2 %) і залежить від величини похибки у вихідних даних, від співвідношення площі споруди і прийнятої площі знімання, від кута нахилу основи та розташування пункту, з якого ведуться спостереження, відносно самої споруди.

Величина похибки  $m_{V_S}$  зменшується, якщо пункт, із якого виконують спостереження, знаходиться поближче до центра площі споруди, а основа споруди і сама споруда нахилені до пункту, з якого ведуться спостереження.

Отже, вплив похибок планового характеру (особливо систематичних) на точність визначення об'єму можна зменшити на стадії проектування спостережувальної станції, закладкою пунктів (трубчатих знаків) із примусовим центруванням геодезичних приладів, та за рахунок точності визначення координат пунктів, із яких виконуються спостереження.

*1. Межотраслевая инструкция по определению и контролю добычи и вскрыши на карьерах. – Л.: Недра, 1977. – С. 36. 2. Тревого И.С., Литинский В.О., Гарасимчук И.Ф. Метод определения объемов земли // Геодезия и картография. – 1997. – № 2. – С. 29 – 31.*