

Бурачек В.Г., Малік Т.М., Штенгелов В.П.

## МЕТОД ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ОБ'ЄМУ ШИХТИ В ШИХТОВОМУ ВІДСІКУ

**Аналіз основних публікацій.** На сьогоднішній день найбільш вживані відомі способи для визначення об'єму шихти, це спосіб рулеткового заміру, заснований на використанні мірної рулетки і мірної лінійки [1] або паралактичний спосіб, що дозволяє визначити положення точки на площині за допомогою пристрою для лінійних та кутових вимірів [2].

Недоліком цих способів є складність автоматизації вимірювань об'ємів шихти в шихтовому відсіку в умовах феросплавного виробництва.

Аналіз існуючих методів визначення об'єму шихти в шихтовому відсіку в комплексах виробництва феросплавів, показує недостатній рівень автоматизації процесу контролю шихти, що спонукає до розробки нових автоматизованих методів дистанційного контролю шихти.

**Метою** статті є розробка автоматизованого методу дистанційного контролю за витратою шихти в шихтовому відсіку в умовах виробництва феросплавів.

**Виклад основного матеріалу.** Метод дистанційного контролю об'єму шихти оснований на паралактичному методі визначення координат. Осі цифрових вимірювальних камер попередньо орієнтують в площині яка паралельна площині  $Y_{III}OZ_{III}$  одного з бортів шихтового відсіку; фотоприймальні матриці (ФПМ) цифрових камер орієнтують так, щоб лінії рядків (стовпців) знаходилися в площині паралельній  $X_{III}OZ_{III}$  і в горизонтальній площині, при цьому за допомогою камер в задані моменти часу фіксують відліки положення світлової відбитої мітки-індексу на поверхні шихти і визначають координати цієї поверхні в проекції на площинах  $Y_{III}OZ_{III}$  і  $X_{III}OY_{III}$ , зокрема, висоти мітки-індексу отримують за формулою:

$$h = H - \frac{b \cdot \sin \alpha'_1 \cdot \sin \alpha'_2}{\sin(180^\circ - \alpha'_1 - \alpha'_2)},$$

де  $H$  – висота горизонтальної лінії об'єктів в цифрових камерах над основою шихтового відсіку;

$b$  – горизонтальна база між цифровими камерами;

$\alpha'_1, \alpha'_2$  – проекції кутів нахилу оптичних осей камер на площину  $Y_{III}OZ_{III}$ :

$$\alpha'_1 = \nu'_1 + \theta'_1 + \varphi_1,$$

$$\alpha'_2 = \nu'_2 + \theta'_2 + \varphi_2;$$

$\nu'_1, \nu'_2$  – проекції вертикальних кутів нахилу контрольних ліній на площину  $Y_{III}OZ_{III}$ ;

$\theta'_1, \theta'_2$  – проекції кутів між оптичними осями камер і контрольними візирними лініями;

$\varphi_1, \varphi_2$  – відліки в кутовій мірі по стовпчикам фотоприймальних матриць камер.

Визначення координат світлової мітки-індексу по осях  $X_{III}$  і  $Y_{III}$  виконують аналогічно по проекціях вищеописаних візирних ліній і робочих світлових променів на площині  $X_{III}OY_{III}$ , враховуючи звіти по рядках фотоприйомних матриць, зорієнтованих паралельно осі  $X_{III}$ , після чого за отриманими координатами світлової мітки-індексу на поверхні шихти  $X_{III_i}, Y_{III_i}$  і перевищенням  $h$  формують цифрову модель шихтової поверхні і обчислюють об'єм шихти за формулою

$$V = \sum_{i=1}^n \Delta x_{III} \Delta y_{III} h_i - V',$$

де  $\Delta x_{III} \Delta y_{III} h_i$  – об'єм елементарного паралелепіпеда з середньою висотою  $h_i$ ;

$V'$  – об'єм частини шихтового відсіку за рахунок спотворення прямокутної форми в придонній зоні шихтового відсіку (визначається завчасно).

Технічним результатом є підвищення точності вимірювань об'єму шихти в шихтовому відсіку.

На рис. 1 представлена блок-схема пристрою дистанційного контролю об'єму шихти в шихтовому відсіку для варіанту застосування двох цифрових оптико-електронних камер. На схемі (рис. 1) позначено: 1, 2 – цифрові оптико-електронні камери; 3 – блок обробки інформації та управління; 4 – формувач світлового індексу; 5 – об'єкт вимірювання – поверхня шихти; 6, 7 – блоки контрольних марок для контролю положення осей камер 1, 2 відповідно.

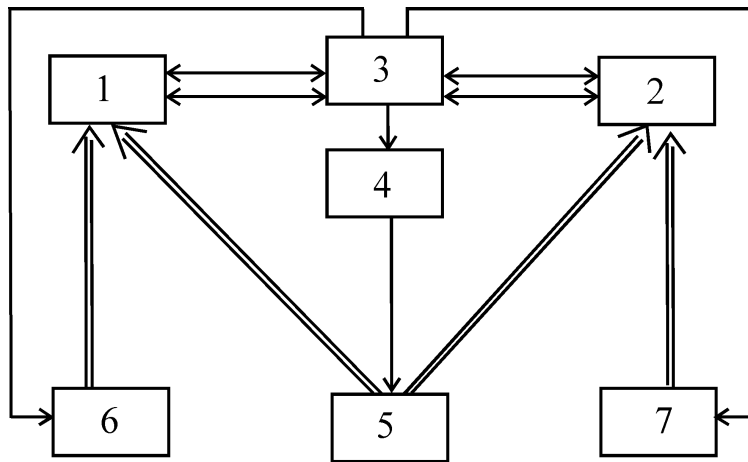


Рис. 1. Блок-схема пристрою дистанційного контролю об'єму шихти в шихтовому відсіку

Цифрові камери 1 і 2 встановлені на стійких стабільних стовпах, на висоті над поверхнею шихти, достатньої для охоплення полем зору камери цієї поверхні; оптичні осі камер 1, 2 орієнтують з нахилом у вертикальній площині  $X_{III}OZ_{III}$  (або  $Y_{III}OZ_{III}$ ), де  $X_{III}$  і  $Y_{III}$  – горизонтальні осі опорної системи координат шихтового відсіку, паралельні площинам бортів відсіку,  $Z_{III}$  – вертикальна вісь системи. Блоки підсвічуються контрольних марок 6 і 7 встановлюють по лінії горизонту у вертикальній площині борту навпроти стовпа відповідної камери 1 (2).

Блок 4 встановлюють на стовпі так, щоб забезпечити відображення світлового індексу при його переміщенні по всій поверхні шихти. Блок 3 встановлений в захищеному від зовнішнього середовища приміщенні і пов'язаний електричними зв'язками з блоками 1, 2, 4, 6, 7.

Методика визначення обсягу шихти включає в себе вимір положення візирного світлового індексу на поверхні шихти за допомогою «n» цифрових оптико-електронних камер, при цьому візирні осі цифрових камер орієнтують як мінімум в одній з площин загальної системи координат  $X_{III}$ ,  $Y_{III}$ ,  $Z_{III}$ , утвореної обмежувальними площинами шихтового відсіку, так само як мінімум одну з відлікових осей (лінії стовпців або рядків) фотоприймальну матрицю кожної камери орієнтують так само в одній з площин загальної системи координат, при цьому змінюють положення осі формування світлового індексу з урахуванням охоплення всієї поверхні шихти і в задані моменти при переміщенні світлового індексу виконують одночасно в «n» камер експозиції, фіксуючи положення зображення світлового індексу на мішенях камер, за отриманими звітами до відомих координатах камер в загальній системі координат  $X_{III}$ ,  $Y_{III}$ ,  $Z_{III}$  визначають проекції робочих світлових

променів «індекс-камера» на відповідну площину системи координат ( $X_{III}OY_{III}$ ,  $X_{III}OZ_{III}$ ,  $Y_{III}OZ_{III}$ ) і на перетині цих проекцій отримують шукану координату поверхні шихти, тобто на площинах  $X_{III}OY_{III}$ ,  $Y_{III}OZ_{III}$  – координату висоти точки поверхні шихти ( $Z_{III}$ ), на площині  $X_{III}OY_{III}$  – координати даної точки ( $X_{III}$ ,  $Y_{III}$ ), потім за отриманими даними і відомими даними про положення основи і бічних обмежувальних поверхнях шихтових відсіків визначають обсяг шихти.

Робота пристрою, що ґрунтується на даній методиці, працює наступним чином. Світлове випромінювання блоку 4 створює на поверхні шихти 5 світлову пляму (індекс); відбитий світловий потік від цього індексу потрапляє на об'єктиви камер 1 і 2, які формують зображення індексу відповідно на матрицях камер; при одночасній експозиції камер 1 і 2 отримують звіти з матриць:  $X_{K_1}$ ,  $Y_{K_1}$  і  $X_{K_2}$ ,  $Y_{K_2}$ .

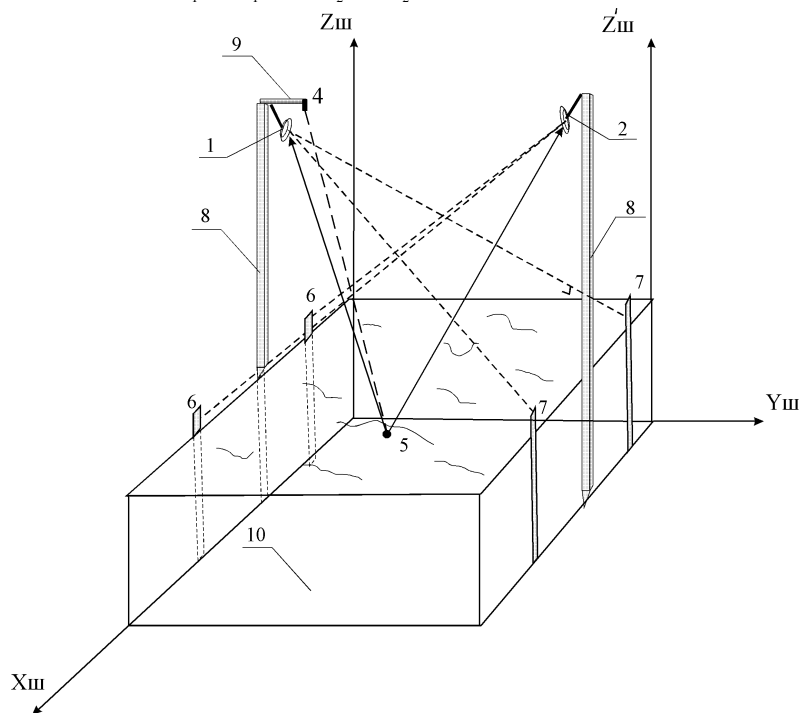


Рис. 2. Схема розташування елементів пристрою в шихтовому відсіку

На рис. 2 показано розміщення елементів пристрою в шихтовому відсіку: 1, 2 – цифрові оптико-електронні камери; 4 – формувач світлового індексу; 5 – об'єкт вимірювання – поверхня шихти; 6, 7 – блоки контрольних марок для контролю положення осей камер 1, 2 відповідно; 8 – стовпи (штанги) для установки цифрових камер 1, 2 і випромінювача 4; 9 – кронштейни з механізмом сканування випромінювача 4; 10 – бортове обмеження шихтового відсіку.

На рис. 3 показана схема розміщення проекцій оптичних осей камер 1, 2 (1'-1'', 2'-2'') і проекцій робочих світлових променів «індекс-камера» (5'-1', 5'-2'), а також контрольних ліній «контрольна марка-камера» (6'-1' і 7'-2').

На схемі (рис. 3) позначено:

- 1' і 3' – проекції центрів об'єктивів камер 1 і 2 на вертикальну площину  $Y_{III}OZ_{III}$ ;
- вісь  $Z'_{III}$  – вертикальна вісь, паралельна осі  $Z_{III}$ , зміщена щодо осі  $Z_{III}$  по осі  $Y_{III}$  на величину відстані між точками 1' і 2';
- 6', 7' – проекції випромінювачів блоків 6 і 7 на площину  $Y_{III}OZ_{III}$ ;
- $\nu'_1$ ,  $\nu'_2$  – проекції кутів нахилу контрольних ліній 1'-6' і 2'-7' камер (1 і 2) на площину  $Y_{III}OZ_{III}$ ;
- $e$  – горизонтальна база камер 1' 2';

- побудова та рішення трикутника 1'2'5' на площині  $Y_{III}OZ_{III}$  дозволяє визначати висоту  $h_i$  точки 5 на поверхні шихти:

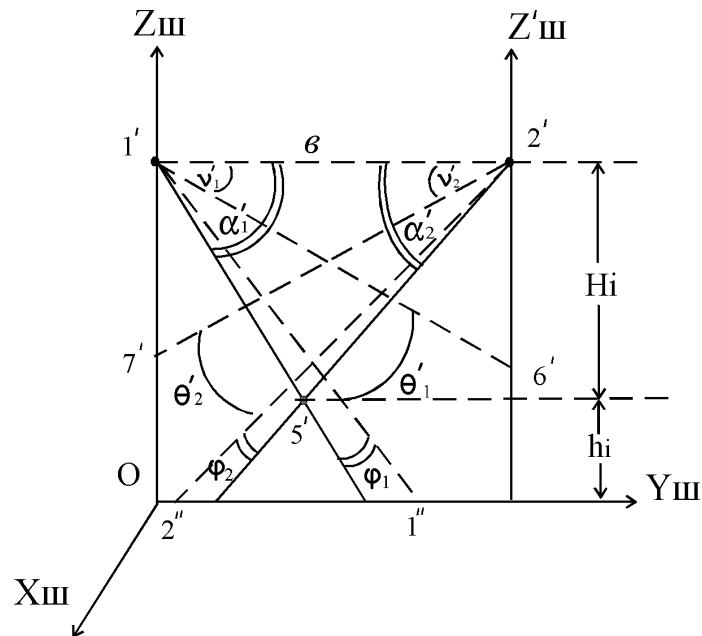


Рис. 3. Схема розміщення проєкцій оптичних осей камер, робочих світлових променів «індекс-камера» і контрольних ліній «контрольна марка-камера»

$$h_i = H - H_i, \quad (1)$$

де  $H$  – висота об'єктива камери 1 (2) щодо дна шихтового відсіку (площині  $X_{III}OY_{III}$ );  
 $H_i$  – відстань по вертикалі від точки 5' до лінії горизонту  $\epsilon$  камер 1' і 2'

$$H_i = \frac{b \cdot \sin \alpha'_1 \cdot \sin \alpha'_2}{\sin(180^\circ - \alpha'_1 - \alpha'_2)}; \quad (2)$$

$$\alpha'_1 = \nu'_1 + \theta'_1 + \phi_1; \quad (3)$$

$$\alpha'_2 = \nu'_2 + \theta'_2 + \phi_2; \quad (4)$$

де  $\alpha'_1, \alpha'_2$  – проєкції кутів нахилу робочих променів 5'-1' і 5'-2' відносно горизонтальної площини;

$\phi_1, \phi_2$  – відліки в кутовій мірі за стовпцями ФПМ камер 1 і 2;

$\theta'_1, \theta'_2$  – проєкції кутів між оптичними осями камер 1 і 2 і контрольних площин, утвореними блоками марок 6 і 7 і центрами об'єктивів камер 1 і 2.

В результаті отримують в площині  $Y_{III}OZ_{III}$  трикутник 2'3'4', в якому відомі всі кути. Висоту цього трикутника (відстань  $H'$ ) отримують за формулою (2) і обчислюють перевищення  $h_i$  точок 5i ( $i = 1, \text{п}$ ) за формулою (1).

Визначення координат точок 5i по осях  $X_{III}$  і  $Y_{III}$  виконують аналогічно по проєкціях вищеописаних візирних ліній і робочих світлових променів на площині  $X_{III}OY_{III}$ , враховуючи звіти по рядках фотоприйомних матриць, зорієнтованих паралельно осі  $X_{III}$ .

За отриманими координатами точок 5i на поверхні шихти  $X_{III_i}, Y_{III_i}$  і перевищенням  $h_i$

---

формують цифрову модель шихтової поверхні і обчислюють об'єм шихти

$$V = \sum_{i=1}^n \Delta x_{ш_i} \Delta y_{ш_i} h_i - V',$$

де  $\Delta x_{ш_i} \Delta y_{ш_i} h_i$  – об'єм елементарного паралелепіпеда з середньою висотою  $h_i$ ;

$V'$  – об'єм за рахунок спотворення прямокутної форми в придонній зоні шихтового відсіку (визначається завчасно).

Дані вимірювань з фотоприймальних камер 1, 2 надходять в блок 3, де виконуються всі обчислення, при цьому вводять поправки в кути  $\alpha$  за відхилення відліків з контрольних марок блоків 6 і 7 щодо номінальних.

Управління випромінювачем блок 4 виконують за програмою з блоку 3.

**Висновок:** метод дистанційного контролю об'єму шихти в шихтовому відсіку дозволяє автоматизувати контроль обсягу шихти в шихтових відсіках, зробити його дистанційним і оперативним, що вписується в автоматизований комплекс виробництва феросплавів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Міжгалузева інструкція з визначення і контролю видобутку і розкриву на кар'єрах. Міністерство вугільної промисловості СРСР. Затв. Держтехнагляду СРСР від 10.08.1976 р.
2. Інструкція по виробництву маркшейдерських робіт. Міністерство вугільної промисловості СРСР. Затв. Держтехнагляду СРСР від 20.02.1985 р.
3. Баран П.І. Інженерна геодезія: Монографія / П.І. Баран. – К.: ПАТ «ВППОЛ». – 2012. – 618 с.
4. Левчук Г.П., Новак В.Є., Конусов В.Г. Прикладна геодезія основні методи і принципи інженерно-геодезичних робіт. – М. «Надра». – 1981 р. – 340 с.
5. Войтенко С.П. Інженерна геодезія: підручник. К.: Знання 2009 р. – 557 с.

УДК 528.482

*Малік Т.М., Брик Я.П.*

#### НОВА КОНЦЕПЦІЯ ВБУДОВАНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНОГО КОНТРОЛЮ ДЕФОРМАЦІЙ КОНСТРУКЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

**Постановка проблеми.** Експлуатаційна безпека інженерних споруд в умовах сучасного міста безпосередньо залежить від того, наскільки ефективною буде система геодезичного моніторингу її стану в реальному масштабі часу. Як показує практика, період часу від початку деформації в будівельній конструкції до її руйнування з трагічними наслідками може бути досить коротким. Саме тому, для особливо важливих складних і багатокомпонентних конструкцій і інженерних споруд, проведення досліджень, навіть з використанням діагностичних комплексів, до складу яких входять GNSS-приймачі, оптико-електронні тахеометри і різні давачі, не доречні. В цьому випадку перевага має бути віддана вбудованим стаціонарним системам, здатним здійснювати інженерно-геодезичний контроль стану споруд в режимі реального часу, сповіщаючи про аварійний стан, коли параметри контролю перевищать допустимі межі безпечної експлуатації.

**Огляд основних досягнень і публікацій.** Огляд публікацій, присвячених проблемі автоматизованого геодезичного контролю деформацій інженерних споруд за останні 10 років, свідчить про те, що найбільшого попиту в рішенні цієї проблеми досягається за рахунок застосування цілого комплексу обладнання, який включає: геодезичні прилади –