

УДК 622.271+528.71

В.Г. ЛЕВИЦЬКИЙ, асп., Р.В. СОБОЛЕВСЬКИЙ, канд.техн.наук, доц. (Житомирський державний технологічний університет)

СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИРОДНИХ ОКРЕМОСТЕЙ КАР'ЄРУ ЯК ЕТАП УДОСКОНАЛЕННЯ МАРКШЕЙДЕРСЬКОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИДОБУВАННЯ ДЕКОРАТИВНОГО КАМЕНЮ

Розглянуто перспективи створення трьохвимірних моделей товарних блоків у програмному середовищі PhotoModeler Pro 5 за результатами фотограмметричної зйомки цифровою неметричною камерою з метою автоматизації і удосконалення маркшейдерського забезпечення видобування декоративного каменю.

Запаси унікальних порід декоративного каменю України дозволяють широко застосовувати його при виготовленні архітектурно-будівельних виробів, облицюванні зовнішньої поверхні будинків, оформленні інтер'єрів, спорудженні пам'ятників, монументів та інших споруд. Переважна частина експорту природного каменю, який здійснює Україна, це сировинні гранітні блоки. Саме це впливає на той факт, що вартість українського експорту в грошовому вимірі досить низька порівняно з сукупною вагою проданого за кордон каменю. Крім того, наша видобувна індустрія донедавна не могла поставити на внутрішній ринок достатню кількість якісних гранітних блоків. Причин такої ситуації можна знайти декілька, головна з яких - багаторічне технологічне відставання від світових тенденцій у видобутку і обробці каменю.

Гірничодобувне обладнання кар'єрів є фондомістким, тому видобувні підприємства України використовують у технологічних процесах некомплектну гірничодобувну техніку різних виробників. Великого поширення набуло застосування неспеціалізованої техніки, яку модифікують спеціально для видобутку блочного каменю. Через слабку технічну оснащеність продуктивність праці дуже низька. Так, за підрахунками експертів, один робітник українського кар'єру видобуває від 4-6 до 15-20 м³ твердих порід каменю на місяць. Це на порядок нижче показника провідних каменедобувних країн світу [1]. При такій ситуації, коли робоча сила дешева, а витрати на виробництво рівні у всіх представників ринку, саме фактор декоративності та якості каменю стає ключовим фактором проникнення на ринок, зміцнення й утримання на ньому власної частки.

Незважаючи на те, що в останні роки в Україні було закуплено сучасне обладнання для видобування блоків і можливості серійного виробництва широкоформатних плит на українських підприємствах розширилися, на сьогодні блоки і сляби з українського граніту не стали універсальною одиницею на внутрішньому та зовнішньому ринку. Аналіз номенклатури й обсягів виробів з природного каменю в Україні показує, що ринку якісних блоків і слябів в його міжнародному значенні в Україні наразі немає. Причиною цього є відсутність стандартизації, єдиної узгодженої схеми визначення основних параметрів продукції та паспорту контролю якості. Щоправда, під впливом світових тенденцій український ринок таки починає пристосовуватися до міжнародного формату.

На українському ринку декоративного каменю спостерігається велика кількість операцій купівлі-продажу товарних блоків, це зумовлено малою кількістю підприємств повного циклу – від видобування блоків до виготовлення кінцевої продукції за рахунок власних виробничих потужностей, а також неконкурентноздатною продукцією з каменю на світовому ринку. Основними етапами процедури купівлі-продажу товарних

блоків є: вибір блоку на складі; визначення його геометричних параметрів; узгодження комерційного об'єму блока між покупцем і продавцем; визначення або затвердження його фізико-технічних параметрів, а саме міцності, тріщинуватості, декоративності та інших; оформлення документів купівлі-продажу; відвантаження і доставка товарного блока. Найбільші проблеми виникають на етапі узгодження комерційного об'єму товарного блока та при виборі способу визначення його геометричних розмірів.

Точне об'єктивне визначення комерційного об'єму, який визначає вартість продукції, стає нагальним науково-практичним завданням, вирішення якого потребує в першу чергу дослідження точності вимірювання лінійних розмірів товарних блоків. Неточність вимірювання спричинює багато факторів, серед яких можна виділити людський фактор, нерівності граней блоку, об'єм блоку та умови при яких здійснюються виміри [2]. Внаслідок цих та інших факторів виникає похибка вимірювання розмірів нетто, яка не дає можливості узгодити об'єм товарного необробленого блоку між покупцем і продавцем, а це в свою чергу приводить до економічних втрат. Отже, точність вимірювання розмірів блоків визначає економічну ефективність всього процесу видобування декоративного каменю, що робить актуальним пошук шляхів вдосконалення методики визначення розмірів і об'ємів товарних блоків.

Аналіз комплексу робіт по маркшейдерському забезпеченню гірничовидобувних підприємств дозволяє зробити висновок про необхідність впровадження у виробництво нових технологій, які б забезпечили автоматизацію робіт, зменшили б частку ручної праці і підвищили довіру до результатів вимірювань та обчислень [2]. Саме тому дослідження зосередились на використанні сучасних методів вимірювань на основі фотограмметрії для точного визначення шуканих параметрів. При цьому автоматизація повинна здійснюватись на основі використання наземної фотограмметричної зйомки, нових електронних приладів і відповідного програмного забезпечення.

Цифрові фотограмметричні системи, які ґрунтуються на методах обробки зображень, мають значний потенціал для вимірювання тривимірних координат поверхні об'єкта. Це зумовлено великим обсягом інформації про об'єкт, яку містять зображення і можливості застосування інтелектуальних методів обробки зображень, які дозволяють автоматично визначати з високою точністю координати характерних точок об'єкту.

Для визначення тривимірних координат точок фотограмметричними методами необхідно мати два або більше різноракурсних знімки об'єкта, на яких присутня дана точка, ідентифікувати вимірювану точку на зображеннях і визначити її піксельні координати. Тривимірні координати заданої точки можуть бути визначені, якщо відоме положення знімків у деякій системі координат (зовнішнє орієнтування) і вирішена задача стереоототожнення, тобто, встановлена відповідність між зображенням заданої точки на одному знімку та її зображенням на інших знімках [3].

Далі, якщо визначені моделі камер і їх положення в деякій заданій системі координат (так зване внутрішнє й зовнішнє орієнтування камер), тривимірні координати заданої точки визначаються з умов колінеарності, які показують, що задана точка об'єкта, центр проектування і зображення даної точки об'єкта лежать на одній прямій. Обробка зображень, а саме вирішення завдання стереоототожнення і розрахунку тривимірних координат відповідних точок, дозволяє отримати координати безлічі точок об'єкта – 3D масив точок поверхні об'єкта («хмара точок»). У випадку складної форми об'єкта, необхідно одержати набір таких «хмар», що покривають всю поверхню об'єкта, причому кожна «хмара», задана у своїй локальній системі координат. Дані масиви є вхідною інформацією системи автоматизованого проектування для наступної обробки з метою побудови моделі поверхні об'єкта.

Реальні об'єкти, для яких необхідно побудувати 3D модель, мають складну форму, таку, що умова видимості двома камерами виконується не для всіх значимих точок поверхні. У цьому випадку, щоб виміряти всі значимі точки і побудувати повну 3D модель, або необхідно використовувати більшу кількість камер і будувати багатокамерну фотограмметричну мережу, що забезпечує виконання умови видимості, або використовувати двокамерну стереосистему для отримання часткових хмар точок, які описують форму фрагментів поверхні об'єктів і потім поєднувати ці часткові фрагменти в єдину модель. Другий підхід є більш універсальним і кращим, оскільки, у цьому випадку, створена вимірювальна система може бути використана для різних об'єктів, у той час як фотограмметрична мережа повинна конструюватися для кожного об'єкта заново.

Важливим фактором, що визначає точність вимірів, є адекватність обраної моделі камери. Для визначення реальних параметрів знімальної камери, таких як положення головної точки, масштабів зображення по осях x і y , параметрів дисторсії, попереднім етапом технології є процедура калібрування (внутрішнього орієнтування), що забезпечує метричні характеристики одержуваних масивів вимірів.

Процедура калібрування заснована на зйомці набору різноракурсних зображень спеціального тестового поля, що містить набір опорних точок, координати яких апріорно відомі. Далі здійснюється вимірювання координат опорних точок на всіх зображеннях і проводиться оцінка заданих параметрів внутрішнього орієнтування камери. Задача оцінки невідомих параметрів вирішується методом найменших квадратів як оцінка невідомих параметрів за спостереженнями.

Для забезпечення точності й статистичної вірогідності оцінки невідомих параметрів необхідно провести велику кількість вимірів (до десятків тисяч), що в ручному варіанті є досить трудомістким завданням та істотно знижує ефективність застосування фотограмметричної системи в промисловості. Для вирішення даної проблеми розроблені методи автоматизації процедур калібрування, які забезпечують автоматичну ідентифікацію мітки на зображенні й субпіксельне високоточне вимірювання координат центра мітки. Структура міток обумовлює високу швидкість їх детектування й ідентифікації на тестовому полі (рис. 1) при значних кутах повороту мітки [4].

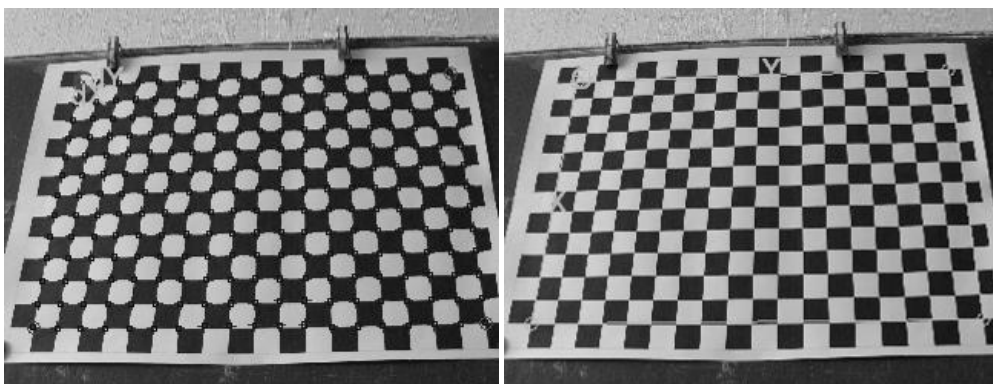


Рис. 1. Тестове поле для калібрування

Таким чином, для побудови системи безконтактного дистанційного вимірювання, необхідно вирішити наступні завдання:

- визначення адекватної моделі одержання зображень (калібрування камер);
- визначення положення знімальної системи в заданій системі координат;
- автоматичне стереоототожнення вимірюваних точок поверхні об'єкта;
- високоточне визначення координат відповідних точок на зображеннях;

- розрахунок тривимірних координат і відновлення форми поверхні об'єкта;
- побудова повної тривимірної моделі об'єкта.

Для побудови тривимірної моделі було обрано продукцію каменевидобувного підприємства, а саме товарний блок декоративного каменю. Створення тривимірної моделі за результатами фотограмметричної зйомки виконувалось у програмному середовищі PhotoModeler Pro 5. Програма дозволяє створювати вихідні тривимірні моделі шляхом перетворення двовимірної інформації, яку містять цифрові знімки, у точно розраховані тривимірні точки, лінії і площини.

Для точності побудови тривимірної моделі необхідно правильно провести фотограмметричну зйомку, так як в основі побудови лежить принцип зв'язування точок об'єкту (тобто кожен пункт або точка, яка моделюється повинна бути присутня на двох або більше знімках). При проведенні цифрової зйомки необхідно забезпечити захоплення всього об'єкту на знімку, що дозволить використати найменшу кількість знімків для побудови 3D моделі. Найменша кількість цифрових знімків для побудови тривимірної моделі – два, але для більш точної побудови 3D моделі та точнішого визначення розмірів бажано використовувати чотири і більше знімків.

Цифрова зйомка даного об'єкту дослідження виконувалась з різних сторін відповідно до методики, описаної в роботі [5]. Як було визначено, оптимальним кутом зйомки є кут 45° , тому даний об'єкт фотографувався з чотирьох точок під цим кутом, що забезпечило підвищену точність побудови тривимірної моделі, яка в свою чергу впливає на точність визначення лінійних розмірів.

Після проведення фотограмметричної зйомки цифровою неметричною камерою знімки завантажили у програмне середовище для подальшої їх обробки, але перед цим були введені дані калібрування цифрової камери.

Побудова тривимірної моделі у програмі PhotoModeler Pro 5 має три стадії:

- 1) позначення місцезнаходження контрольних точок на кожному знімку;
- 2) проведення операції зв'язування контрольних точок на кожному знімку, де вони зображені (рис. 2);
- 3) процес обробки отриманої інформації.

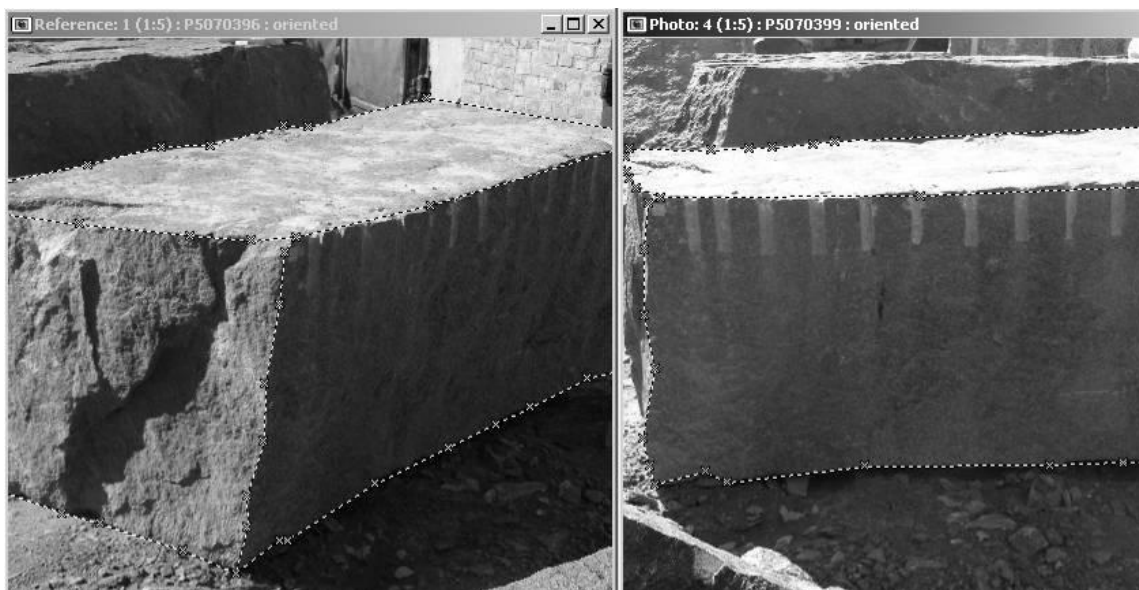


Рис. 2. Принцип зв'язування точок блоку

PhotoModeler використовує марки на знімках для визначення положення точки у трьох вимірах. При позначенні точки чи лінії на знімку необхідно відмітити ту ж саму

точку чи лінію на інших знімках, де вона зображується. Для полегшення проведення операції зв'язування кожна контрольна точка має свій порядковий номер, який встановлюється автоматично згідно з порядком обведення першого знімка.

На етапі процесу обробки отриманої інформації можна ввести поправки за неточність визначення місця розташування зв'язаних точок. На рис. 3 видно похибку визначення точок на знімках, яку можна звести до мінімуму врахувавши залишковий коефіцієнт. При перенаведенні контрольних зв'язаних точок необхідно забезпечити таку точність визначення місця знаходження точок, щоб залишковий коефіцієнт був меншим одиниці. Після врахування похибок за наведення точок і завершення процесу обробки інформації створюють тривимірну модель об'єкта і накладають текстуру.

Id	RMS Residual (pixels)	Largest Residual	Photo Largest Residual	Tightness (m)	Tightness (%)	Angle (deg.)
48	3,267233	7,143663	4	0,043213	2,160625	86,575472
49	6,627665	7,149378	4	0,063802	3,190077	89,803947
50	4,080977	0,675136	4	0,078236	3,911802	89,558095
51	5,302346	0,321252	4	0,083086	4,154309	89,536845
52	9,625865	9,191175	12	0,043293	2,164627	58,44093
53	2,818646	1,188497	12	0,046951	2,347525	55,721942
54	2,745337	2,313615	12	0,045955	2,297736	54,412335
55	8,244501	5,517325	12	0,040447	2,022373	53,244435
56	8,961836	5,127115	10	0,025626	1,281282	51,083659
57	2,051928	4,603774	10	0,050201	2,510055	47,216848
58	8,993932	3,751912	10	0,045331	2,266566	47,040896
59	6,169361	8,790791	12	0,020903	1,045151	47,873354
60	6,707572	0,860066	1	0,021313	1,065635	48,437744
61	12,10053	16,997621	10	0,016744	0,83721	48,905147
62	6,533474	0,502263	10	0,024665	1,233242	49,254092
63	3,859272	0,760258	10	0,020531	1,02657	49,160283
64	5,431886	2,942582	10	0,024534	1,226684	49,340283
65	7,012899	2,670203	12	0,053542	2,677081	50,073843
66	9,154418	1,385513	1	0,004059	0,202968	50,493028
67	5,113733	1,382767	10	0,023743	1,187163	51,003763
68	3,247275	4,993081	9	0,056222	2,811116	76,962582

Рис. 3. Таблиця похибок визначення місця розташування зв'язаних точок

По завершенню процесу обробки інформації і отримання тривимірної моделі можна визначити лінійні розміри об'єкту (рис. 4). При чому вимірювання розмірів можна проводити як по обробленому знімку, так і по створеній тривимірній моделі. Також дана програма дозволяє визначити площу поверхонь даного об'єкту.

За даними результатами вимірювання площ поверхонь були отримані об'єми блоку, визначені за допомогою програми PhotoModeler та було виконане порівняння точності визначення об'єму за допомогою програми та традиційної технології, яка розглянута в [2] (табл. 1).

Табл. 1. Результати вимірювання об'єму блоку за традиційною технологією та за допомогою програми Photomodeler

Параметр	Об'єм блоку, м ³		$\Delta V = V_{ai} - V_{mi}$
	Механічний спосіб (V_m)	Автоматичний спосіб (V_a)	
V_1	1,56	1,56	0
V_2	1,63	1,64	0,01
V_3	1,63	1,64	0,01
V_{cp}	1,607	1,613	0,006

Проаналізувавши результати вимірювання, можна зробити висновок, що точність вимірювання за допомогою програми PhotoModeler вища, так як при визначенні лінійних розмірів є можливість врахування нерівностей об'єкту.

Так як дана програма немає обмежень щодо розміру об'єктів, то її можна використовувати при вирішенні більш нагальних питань у гірничій справі, а саме при розділенні моноліту на блоки, блоки на сляби і т.д. Побудована модель може експортуватися у інші графічні програми для подальшої обробки.



Рис. 4. Процес вимірювання ширини блока по обробленому знімку

Висновки

Об'єктивне визначення комерційного об'єму товарного блоку декоративного каменю дасть можливість покупцю вибирати товарний блок за співвідношенням ціна і споживча якість, проблема узгодження об'єму блока зникне і процедура купівлі-продажу стане більш прозорою і головне уніфікованою під єдині стандарти. Створення паспорта товарного блока дозволить автоматизувати і удосконалити маркшейдерське забезпечення на кар'єрах декоративного каменю.

Бібліографічний список

1. Ведін Я. Нова технологія видобування блоків / Я.Ведін // Камінь. – 2005. - №6. – С.20.
2. Левицький В.Г. Дослідження точності вимірювання лінійних розмірів товарних блоків природного каменю та її впливу на техніко-економічні показники кар'єру / В.Г.Левицький, Р.В.Соболевський // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2007. - №4(43). – С. 149-155.
3. Левицький В.Г. Удосконалення методики аналітичної обробки знімків, отриманих неметричними цифровими камерами при виконанні фотограмметричної зйомки / В.Г.Левицький // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – №1(44). - С. 163-170.
4. Левицький В.Г. Дослідження етапів калібрування цифрових неметричних камер з метою підвищення ефективності наземної фотограмметричної зйомки / В.Г.Левицький, Р.В.Соболевський // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2008. - №2(45). – С. 77-84.
5. Левицький В.Г. Дослідження впливу кута і відстані цифрової фотограмметричної зйомки на точність побудови тривимірних моделей об'єктів кар'єру декоративного каменю / В.Г.Левицький,

Р.В.Соболевський, А.В.Панасюк // Наукові праці ДонНТУ. Серія: гірничо-геологічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Вип. 9(143). – С. 147-151.

Надійшла до редколегії 05.10.2009

В.Г. ЛЕВИЦКИЙ, Р.В. СОБОЛЕВСКИЙ

**СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИРОДНЫХ ОТДЕЛЬНОСТЕЙ КАРЬЕРА
КАК ЭТАП УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДОБЫЧИ ДЕКОРАТИВНОГО КАМНЯ**

Рассмотрены перспективы создания трехмерных моделей товарных блоков в программной среде PhotoModeler Pro 5 по результатам фотограмметрической съемки цифровой неметрической камерой с целью автоматизации и усовершенствования маркшейдерского обеспечения добычи декоративного камня.

V. LEVITSKY, R. SOBOLEVSKIY

**CREATION OF THREE-DIMENSIONAL MODELS OF NATURAL AREAS OF A QUARRY
AS A STAGE OF IMPROVING MINE SURVEYING IN DECORATIVE STONE
PRODUCTION**

The article considers the prospects of creating three-dimensional models of trade blocks in PhotoModeler Pro 5 by the results of photogrammetric survey with non-metric digital camera for automation and improvement of surveying in the production of decorative stones.

© В.Г. Левицкий, Р.В. Соболевський, 2010