

**XXVIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE
IN GEODESY AND RELATED FIELDS**

Sofia, 08 - 09 November 2018

**XXVIII МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
“СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБУЧЕНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА
ПРАКТИКА В ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ”**

София, 08 - 09 Ноември 2018

**СЪЗДАВАНЕ НА ЧИСЛЕН ФОТОГРАМЕТРИЧЕН МОДЕЛ
В ПОДЗЕМЕН РУДНИК**

Веселина Господинова, Петър Георгиев, Павел Иванов (BG)

РЕЗЮМЕ

Проведено е изследване, свързано с фотограметрично заснемане в подземен рудник „Ерма река” за добив на олово - цинкова руда. Целта е да се изследват възможностите за генериране на числов модел на част от галерия, който може да послужи за решаването на различни маркшайдерски задачи. Използвано е изкуствено осветление и цифров фотоапарат. Получените резултатите са анализирани.

Ключови думи: подземен рудник, близкообхватна фотограметрия, числов модел, изчисляване на обем.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Подземните пространства често се характеризират със сложна морфология и в някои случаи с голяма площ и често трябва да бъдат изследвани и картографирани с достатъчна точност. Създаването на повърхнини и триизмерни модели на такива пространства е от изключително значение не само за получаване на информация за размерите, формата и пространствената ориентираност на минните изработки, но и за точна картина на сложната морфология на подземните пространства. Тя позволява не само да се идентифицират различни нарушения на трудно достъпни места (високи стени, тавани, крепежи и т.н.), но и да се получат данни за тяхната посока и наклон. Генерирането на точни и подробни данни за структурните и геоложки условия и морфологията на подземните пространства е важно, за да се получи цялостен модел на подземните изработки и те да се анализират.

Точните цифрови триизмерни геоложки модели са от съществено значение, за да се постигне безопасен, производителен и икономически ефективен добив на полезни изкопаеми. Те могат да послужат за създаване на напълно интегрирана цифрова система за изобразяване на повърхнини на скали, геоложко картографиране, обединено с геоложки модел, извличане на характеристики и свързания с тях анализ, моделиране на операции при подземния добив и други. Голямото предимство на цифровите геоложки модели е, че те

дават възможност на геолога да работи на триизмерно виртуално копие на минните изработки от дистанция при което няма ограничения във времето, като той не е изложен на топлина, влага и опасности, свързани с физическото картографиране в подземния рудник [2].

Осигуряването на безопасна работна среда е от първостепенно значение за планирането в мините и за безопасността на служителите. Благодарение на напредъка на технологиите инцидентите и смъртните случаи са намалели в сравнение с миналото. Един от начините за подобряване на безопасността и ефективността на подземните рудници е правилното разбиране за скалните маси и тяхното поведение, което не е лека задача, тъй като хетерогенността и анизотропията на много скални маси правят трудно прогнозирането на поведението им [4].

Подземните изработки поставят много предизвикателства пред минните инженери свързани с тяхното моделиране, произтичащи от специфичната среда на работа – липса на естествена светлина, запрашаемост, влага. Фотограметричните методи се развиват бързо и показват добри перспективи не само като инструмент за моделиране на повърхнини и пространства, но и за земно контролно изследване и наблюдение.

Преразпределенията на напреженията, които възникват при извличането на полезните изкопаеми е предизвикателство за минните инженери. От голямо значение е осигуряването на стабилност в галериите. Следенето на състоянието на целици, изкуствени подпори, стени на изработки е по-трудно в сравнение с определянето на различни реакции в лабораторни условия поради различни причини. Инсталирането на апаратура в подземния рудник може да бъде трудно, да е невъзможно в най-подходящите места или да излага на риск миньорите. Фотограметрията е технология за дистанционно наблюдение, която позволява проследяване на движенията на скалните маси с цел укрепване в подземните рудници. Движението на земните маси традиционно се следи чрез уреди, които извършват измервания в определен брой точки, като например екстензометър. Най-често срещаните екстензометри, намиращи се под земята, са повърхностни или сондажни. Екстензометрите на повърхността измерват движението на две точки върху скалната повърхност, а сондажните работят подобно на повърхностните, но се монтират в сондажи. Тези измервания следят промяната в позицията на две точки по отношение една на друга и информацията, която те предоставят, е от решаващо значение за разбирането на скалните маси и проектирането на инженерни системи. Обикновено се ограничават до измерване в едно измерение и могат да променят поведението си при инсталиране, да възпрепятстват минните операции и да ограничат наблюдението на поведението в малка площ.

Тези устройства са ограничени от точките, на които са закрепени. Някои екстензометри позволяват измерване в повече точки, но всеки инструмент е силно ограничен в обхвата на измерване. В случай на продължителна реакция на скалната маса, екстензометрите са напълно способни да записват точни точкови измервания на конвергенцията, но в случай на спиране на скалната реакция, тези точкови измервания може да не се отчитат или да доведат до погрешни резултати [3]. Освен, че измерванията се извършват в точно определени точки, които не винаги могат да бъдат разпределени равномерно в наблюдавания обект, друг недостатък е свързан с механични източници на грешка в екстензометрите. Те могат да възникнат по различни причини: повреда на инструмента, повреда на кабелите, натрупване на прах или мръсотия в инструмента или кабелните съединители и други.

Фотограметрията предоставя възможност за наблюдение на стени на изработки, целици и други обекти в подземни рудници като една алтернатива или допълнение към други използвани методи. В изследване е представен фотограметричен метод за моделиране на крехки фрактури (разрушения) на шест целици в подземен рудник. Авторите описват приложението на цифровата фотограметрия за детайлно наблюдение на процеса на разрушаване на целиците, като обръщат внимание на геометрията (формата) и развитието на цялостната напуканост на целика, размерите и значението им. Изследван е характера на

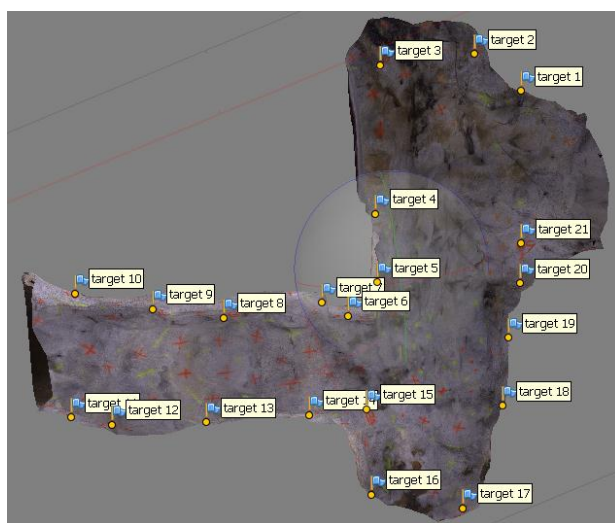
общата и пълната напуканост, свързана с образуване на отломки от целика. Цифровото фотограметрично заснемане и създаване на тримерни модели предоставя ново разбиране за целостта и естеството на пукнатините, свързани с оценката на целици [5].

Цифровите модели са от съществено значение при подземния добив и при комуникацията между различни отдели на компанията, състоящи се от мениджъри, инженери, миньори, специалисти по планиране, здравеопазване и безопасност, както и служителите, които се грижат за логистиката. Триизмерните модели дават възможност на различните специалисти да решават проблеми или да предприемат стъпки за подобрения, свързани с внедряване на нови, по-ефективни машини или друг вид инвестиции, да променят методите на изкопните работи и др. Тези модели ще помогнат на служителите и ръководители (инвеститори, директори, управители) да придобият по-добра представа за ситуацията в подземния рудник.

2. ФОТОГРАМЕТРИЧНО ЗАСНЕМАНЕ И ОБРАБОТКА НА ДАННИТЕ

2.1. Фотограметрично заснемане

Фотограметричното заснемане е извършено с цифров фотоапарат Canon с разделителна способност 16Мрiх. Използвани са 2 лампи с LED осветление. За създаване на модела са направени 314 снимки, някои от тях са фронтални, други наклонени нагоре към тавана. На обекта са маркирани трайно със спрей 21 опорни точки, които са разположени равномерно. Местоположението им е представено на фигура 1. Маркирани са и допълнителни елементи с различна форма, които са от значение при фотограметричната обработка. На фигура 2 е показано етап от работния процес - сигнализирането на опорна точка със спрей, използвайки шаблон.



Фиг. 1. Визуализация на разположение на опорните точки при генериран текстуриран фотограметричен модел с изглед отгоре



Фиг. 2. Сигнализиране на опорна точка

Опорните точки са измерени с тотална станция Trimble S6 в локална координатна система.

Времето необходимо за маркиране, измерване на опорните точки и фотограметрично заснемане е около 4 часа. Това време би могло да се редуцира, тъй като трябва да се има в предвид, че това е първо заснемане на колектива в реални условия.

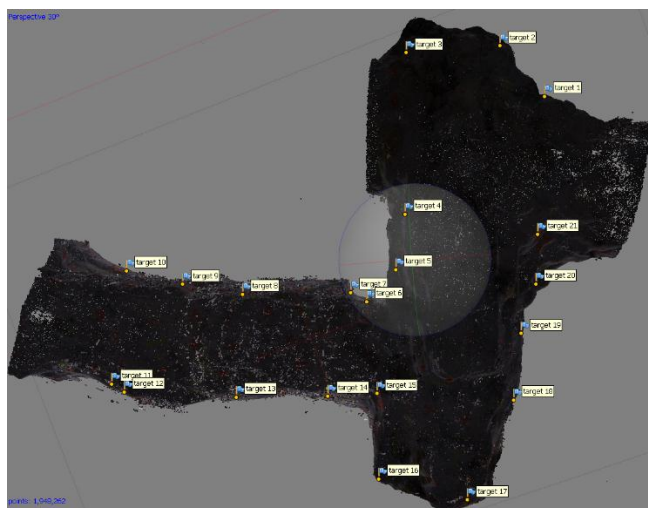
2.2. ОБРАБОТКА НА ДАННИТЕ

Обработката на данните е реализирана в програмната среда на руския софтуер Agisoft Photo Scan Professional Edition. Използвани са изображения в raw формат. След създаването на проекта и въвеждането на снимките и координатите на опорните точки всяка една точка се припознава във всички снимки в които я има. Задават се параметрите за изравнението след което се извършва оптимизация. Получената средна квадратна грешка (абсолютната точност на модела) след изравнението е 0,007m и е представена на фигура 3.

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projectio
<input checked="" type="checkbox"/> target 1	1998.082000	1001.688000	501.257000	0.005000	0.007195	39
<input checked="" type="checkbox"/> target 2	1997.088000	1000.774000	501.936000	0.005000	0.003509	43
<input checked="" type="checkbox"/> target 3	1997.070000	998.849000	501.933000	0.005000	0.003742	44
<input checked="" type="checkbox"/> target 4	2000.318000	998.512000	500.553000	0.005000	0.003638	24
<input checked="" type="checkbox"/> target 5	2001.512000	998.293000	501.724000	0.005000	0.003651	63
<input checked="" type="checkbox"/> target 6	2002.147000	997.616000	501.578000	0.005000	0.007792	31
<input checked="" type="checkbox"/> target 7	2001.951000	997.197000	500.695000	0.005000	0.011681	41
<input checked="" type="checkbox"/> target 8	2001.799000	995.080000	501.881000	0.005000	0.010022	71
<input checked="" type="checkbox"/> target 9	2001.505000	993.702000	501.416000	0.005000	0.008574	69
<input checked="" type="checkbox"/> target 10	2001.111000	992.232000	500.645000	0.005000	0.008643	49
<input checked="" type="checkbox"/> target 11	2003.567000	991.836000	500.922000	0.005000	0.003695	51
<input checked="" type="checkbox"/> target 12	2003.620000	992.537000	502.137000	0.005000	0.007770	31
<input checked="" type="checkbox"/> target 13	2004.032000	994.557000	500.913000	0.005000	0.008336	54
<input checked="" type="checkbox"/> target 14	2004.108000	996.633000	501.264000	0.005000	0.012756	74
<input checked="" type="checkbox"/> target 15	2004.022000	997.742000	501.961000	0.005000	0.007754	73
<input checked="" type="checkbox"/> target 16	2005.795000	997.649000	501.896000	0.005000	0.006457	68
<input checked="" type="checkbox"/> target 17	2006.272000	999.433000	502.143000	0.005000	0.008327	62
<input checked="" type="checkbox"/> target 18	2004.450000	1000.554000	501.248000	0.005000	0.001633	54
<input checked="" type="checkbox"/> target 19	2003.035000	1000.802000	501.562000	0.005000	0.006715	69
<input checked="" type="checkbox"/> target 20	2002.031000	1001.218000	501.080000	0.005000	0.004029	45
<input checked="" type="checkbox"/> target 21	2001.009000	1001.223000	502.375000	0.005000	0.003347	75
Total Error						
Control points					0.007247	

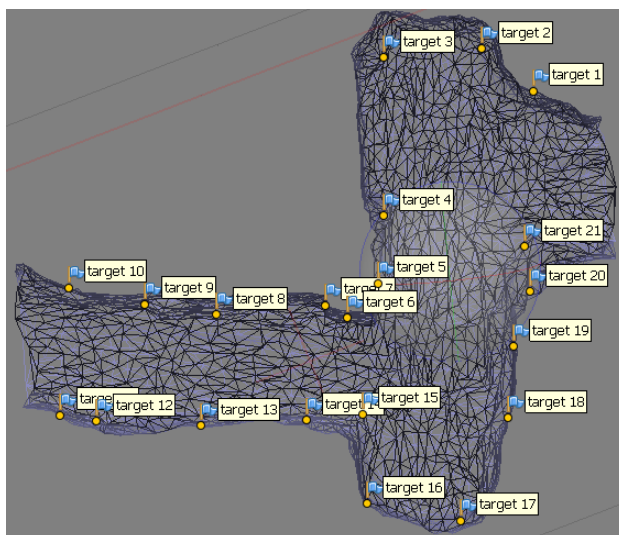
Фиг. 3. Координати на контролните точки и средна квадратна грешка от изравнението на модела, получен с цифров фотоапарат Canon EOS600D

След приключване на изравнението се създава множество от 3D векторни точки или така нареченият „плътен облак от точки“ (Dense Point Cloud). Генерираният облак от точки в нашия експеримент съдържа 1 948 262 точки и може да се види на фигура 4.



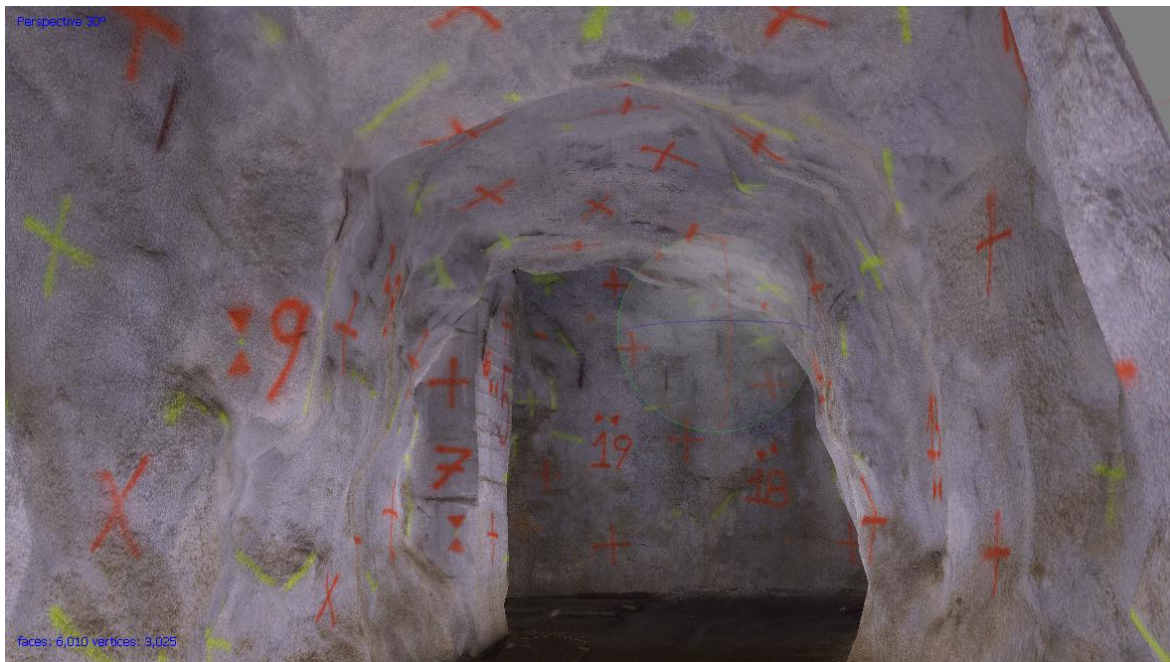
Фиг. 4. Генерираният плътен облак от точки

От получения състен облак от точки автоматизирано се създава нерегулярна триъгълна мрежа или така наречения полигонален модел (Mesh), съдържаща 6052 триъгълника. Мрежата е визуализирана на фигура 5 с изглед отгоре.



Фиг. 5. Нерегулярна триъгълна мрежа

Генерирането на триизмерен цифров модел с текстура е една от основните задачи на фотограметричния софтуер. Визуализацията на модела е представен на фигура 6.



Фиг. 6. Визуализация на част от създадения триизмерен цифров модел с текстура - изглед отвътре

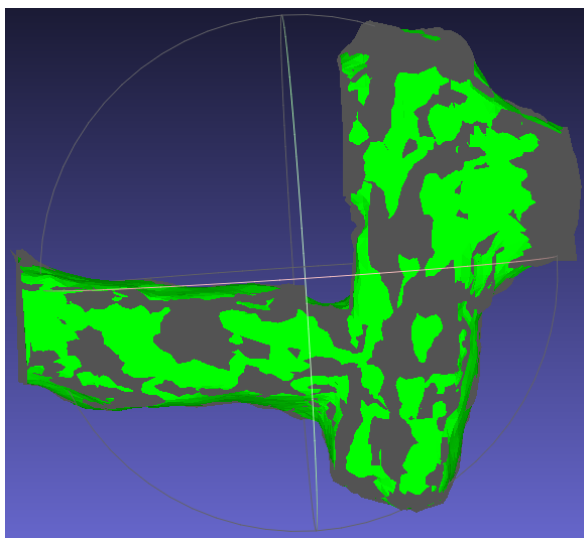
Времето за фотограметрична обработка е около 10 часа. Но трябва да се имат в предвид два фактора. Първо обработката е извършена на преносим компютър, който има RAM 8,00GB при препоръчани параметри в ръководството на потребителя за Version 1.2 на програмата Agisoft PhotoScan Professional - RAM 12,00GB за обработка на 200-300 изображения. Считаме, че времето може значително да се оптимизира при обработка на стационарен компютър с по-високи параметри на паметта. Второ има възможност да се оптимизира и броят на заснетите кадри, така че да отговаря на изискванията за качество и точност на модела от една страна и време за обработка от друга. Това би било обект на бъдещи изследвания.

3. ГЕОДЕЗИЧЕСКО ЗАСНЕМАНЕ С ТОТАЛНА СТАНЦИЯ

Извършено е и маркшайдерско заснемане на същия участък от минната галерия, който е заснет чрез фотограметричен метод. За целта е използвана тотална станция Trimble S6 в режим на безрефлекторно измерване. Заснемането е реализирано с вграденото в инструмента приложение за сканиране на повърхнини, дефинирайки равнина по 3 точки чрез методът „Rectangular plane”. Базирайки се на направено проучване, свързано с изследване на влиянието на различните разстояния за сканиране при изчисляване на обем на иззетата минна маса за три участъка в същия обект е избрана стъпка на сканиране 0.50 m x 0.50 m [1]. След това, в зависимост от посочените при настройката разстояния са реализирани измервания в автоматизиран режим, като в края на участъка са заснети отделни точки на характерни места, избирани по преценка на оператора. За изследвания участък са получени 1123 точки. Работния файл от тоталната станция е въведен в Trimble Business Center, за да се генерира нерегулярна триъгълна мрежа в програмната среда на MeshLab, където са създадени 6994 триъгълници.

4. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ОБЕМА НА ИЗЗЕТАТА МИННА МАСА

Изчислен е обема на иззетата минна маса съответно за модела, получен от фотограметричното и геодезическото заснемане. Обемът получен от фотограметричния модел възлиза на 121,856, а обемът от геодезическото заснемане – 120,607 m³. Разликата в обемите е в порядъка на 1.02%, което дава основание да считаме, че предложения фотограметричен метод може да се използва за изчисляване на обем на иззетата минна маса в подземни рудници. На фигура 7 са визуализирани двата модела наложени един върху друг и оцветени в различни цветове – фотограметричния модел в сиво, а от геодезическото заснемане в зелено.



Фиг. 7. Визуализация на двата триизмерни модели с изглед отгоре, наложени един върху друг

5. АНАЛИЗИ И ИЗВОДИ

Резултатите показват, че представената методика може да се приложи в реални условия при решаването на различни геодезически и маркшайдерски задачи: изработване на триизмерни модели на минни изработки и на графична документация, мониторинг на напредъка на експлоатационните работи по отношение на картографиране на галерии, изчисляване на обеми, структурно картографиране. Цифровото фотограметрично моделиране може да бъде един добър инструмент не само за маркшайдери, но и за други специалисти занимаващи се с геолошко картографиране, извличане на характеристики и свързания с тях анализ, моделиране на операции при подземния добив и други. Недостатъка на методиката се състои в това, че в този си вид тя не е пригодена за заснемане на недостъпни празнини или на пространства, където достъпа на маркшайдера е невъзможен или престоят му там е забранен. Тази методика би могла да намери приложение при периодичното наблюдение свързано с проследяване на промените в скалните маси (стени, кръстове, целици и др.) и на настъпили деформации, тъй като тя предоставя не векторни, а тензорни описания на геометричните промени, които дават по-голяма представа за движението на скалите и потенциалните опасности от нарушаване целостта на масива. За тази цел се изисква извършване на допълнителни изследвания, свързани с установяването на точна методика насочена по-конкретно към следене на деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бегновска М. Маркшайдерска снимка на капитална изработка при различна детайлност на информацията. Пета национална научно-техническа конференция с международно участие „Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, 2016, Девин, България
2. Christoffel van der Merwe, H. Sirovision®: a proposed solution for the implementation of a digital geological mapping and modelling system at AngloGold Ashanti’s Moab Khotsong Mine – interim report. World Gold Conference, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2009
3. Hoek E. Surface and Underground Project Case Histories: Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice and Projects. Elsevier Science, 2014
4. Slaker, B. Monitoring Underground Mine Displacement Using Photogrammetry and Laser Scanning. PhD, Blacksburg, VA, 2015
5. Styles, D., Y. Zhang, D. Stead, D. Elmo, D. Roberts, T. Yanske. A photogrammetric approach to brittle fracture characterization in mine pillars, Copyright 2010 ARMA, ARMA 10-410, This paper was prepared for presentation at the 44th US Rock Mechanics Symposium and 5th U.S.- Canada Rock Mechanics Symposium, held in Salt Lake City, UT June 27–30, 2010

Адреси на авторите:

1. Гл. ас. д-р инж. Веселина Господинова, Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", катедра "Маркшайдерство и геодезия", Студентски град, ул. „Проф. Боян Каменов", София 1700,
e-mail: veselina_gospodinova80@abv.bg
2. Инж. Петър Георгиев, Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", катедра "Маркшайдерство и геодезия", Студентски град, ул. „Проф. Боян Каменов", София 1700,
e-mail: georgiev.peter1@gmail.com
3. Павел Иванов, Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", катедра "Маркшайдерство и геодезия", Студентски град, ул. „Проф. Боян Каменов", София 1700,
e-mail: mrivanov780@gmail.com