

При меньшем расстоянии уровень напряжений выравнивается и остается высоким во всей толще целика, что указывает на его разрушение.

Зона 4,5 м является той зоной, на которую должно быть направлено максимальное влияние с точки зрения управления устойчивостью сопряжений, причем управляющие воздействия должны применяться, когда выработки находятся на расстоянии, превышающем 11,0 м.

Дальнейшие исследования направлены на оценку взаимного влияния выработок, расположенных в слоистом массиве, с целью разработки методов повышения устойчивости таких сопряжений, эксплуатирующихся на больших глубинах.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.13

УДК 528.8.042: 622.3

В.Д. СИДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц.,  
О.С. НАМИНАТ, М.П. СЕРГЕЄВА, ДВНЗ «Криворізький національний університет»,  
В.Я. КОВТУН, НВП «УКРКОВІД», ДП «УКРГЕОДЕЗМАРК ПАТ «КІЇВМЕТРОБУД»,  
корпорація УКРМЕТРОТУНЕЛЬБУД,  
Ю.Л. СЕРЕБРЯНИЙ, Є.П. ВОЛЧКО, канд. техн. наук, НВФ «ДОКА»

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ В ГІРНИЧО-ВИДОБУВНОМУ РЕГІОНІ

Розглянуто метод дослідження лазерного 3D-сканування. Наведено результати вимірювань для виявлення можливих вертикальних і планових деформацій полотна проїжджої ділянки автодороги.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** У наш час застосування сучасних технологій, що базуються на використанні передових програмних розробок і обладнання, вимагає детального вивчення в області дослідження точнісних параметрів. Насамперед, це пов'язане з тим, що не всі сучасні засоби вимірювання включені в діючі інструкції із проведення маркшейдерських і геодезичних робіт.

Завдання розробки технологій збору і обробки даних на об'єктах гірничо-видобувної промисловості залишаються актуальними. Зокрема, геодезичні і маркшейдерські зйомки є трудоемним завданням, що обумовлене високою завантаженистю технологічними елементами виробничих цехів, значною кількістю інженерно-технічних споруд на об'єктах гірничої промисловості, а також необхідністю оперативного проведення маркшейдерських робіт в гірничих виробках.

Для прискорення геодезичних і маркшейдерських робіт, а також для підвищення інформативності отримуваних при цьому даних пропонується використовувати технологію тривимірного наземного лазерного сканування.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Теоретичні основи технології лазерного сканування викладені в роботах І.Г. Журкіна, В.О. Середовича, А.П. Гук, І.М. Даніліна, А.П. Карпідке розглядається впровадження технології наземного лазерного сканування у вирішенні задач геоінформаційного забезпечення інфраструктури гірничо-видобувного підприємства[1-3].

У нормативних документах застосування технології наземного лазерного сканування як методу отримання маркшейдерсько-геодезичних вимірів згадується тільки в [1]: «...данные наземной лазерной съемки могут использоваться для пополнения картографической документации, если топографическая ситуация на местности изменилась по сравнению с ее изображением на имеющемся плане более чем на 35 %...». Насправді технологія наземного лазерного сканування може бути використана для рішення багатьох завдань маркшейдерсько-геодезичного забезпечення на об'єктах гірничої промисловості, відповідаючи при цьому по точнісних параметрах необхідним нормам і правилам, а по продуктивності перевершуючи раніше існуючі методи маркшейдерської зйомки.

**Постановка завдання.** Оцінка відповідності точності технології тривимірного наземного лазерного сканування діючим нормативним документам при рішенні завдань маркшейдерського забезпечення на об'єктах гірничовидобувної промисловості (при контролі над полотном автодороги «Техбаза - кладовище «Західне»). Розробка технології топографічної зйомки методом тривимірного наземного лазерного сканування. У якості теоретичних методів досліджень для оцінки точності тривимірного лазерного сканування використовувати: теорію помилок вимірів, методи математичної статистики і метод найменших квадратів. У якості експеримента-

льного методу використовувати аналіз застосування технології тривимірного лазерного сканування на гірничо-видобувному підприємстві.

**Викладення матеріалу та результати.** Досліджується відрізок полотна автодороги з твердим покриттям (асфальт) довжиною 1080 м, шириною 10-12 м на ділянці «Техбаза - кладовище «Західне». Полотно ділянки автодороги пролягає над ціликом гірничого відводу шахтоуправління по підземному видобуванню руди (на правах шахт) «АрселорМіттал Кривий Ріг», і пролягає над виробленим простором шахти «Родіна» ПАТ «Кривбасзалізрудком».

Для виявлення можливих (прогнозованих) вертикальних і планових деформацій полотна автодороги в досліджуваній зоні вибраний метод наземного лазерного 3D-сканування.

Дослідженню підлягав відрізок полотна автодороги з асфальтовим покриттям довжиною 1080 м шириною 12 м. Полотно дороги пролягає над виробленим простором шахти «Родіна» і межує із зонами обвалів. Відпрацювання покладу під автодорогою проводився з 1978 р. З цього періоду в товщі налягаючих порід розвивалося склепіння самообвалення. Відомостей про стан підробленої товщі і порожнеч під автодорогою не має. Глибина спливання склепіння самообвалення по даним геофізичних дослідження з вересня 2010 по 10 липня 2011 р. складає близько 570-600 м. Середня швидкість спливання за станом на 10 червня 2011 р. складає близько 10 м в рік. Для виявлення можливих деформацій полотна автодороги був застосований метод наземного лазерного 3D-сканування.

Вперше в Кривбасі, застосувавши новітні технології лазерного сканування *Leica Geosystems*, ТзОВ науково-виробнича фірма «ДОКА» при науково-технічному супроводі науково-виробничого підприємства «УКРКОВІД» в березні 2013 р. виконано комплекс робіт з наземного лазерного 3D-сканування проїжджої частини ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» в м. Кривому Розі.

Наземне лазерне сканування об'єкту виконувалось приладом «*Leica ScanStation2*» s/n 1251517.

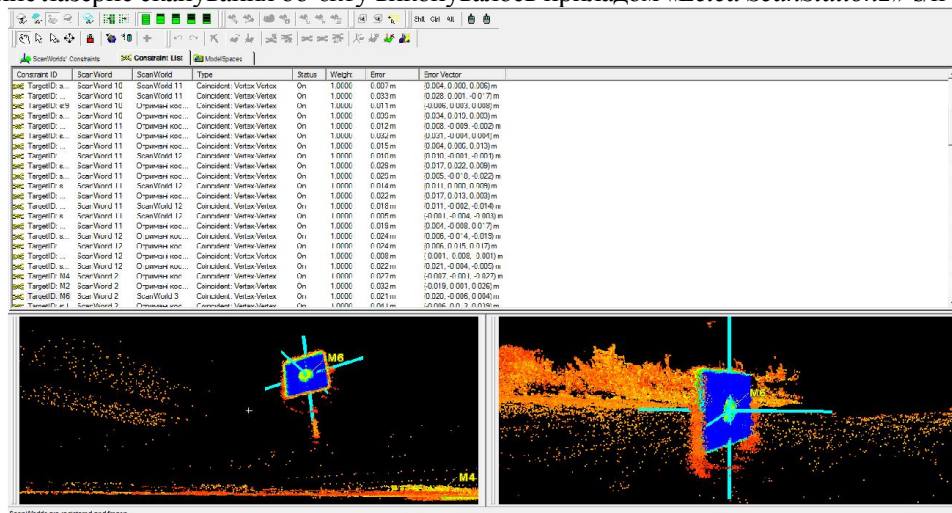


Рис. 1. Урівнювання й оцінка точності координат точок тимчасової знімальної мережі для сканування в ПЗ «CycloneSCAN»

На етапі робіт координати точок тимчасової знімальної мережі для побудови *TIN*-моделі нерегулярної поверхні полотна проїжджої частини обстеженої ділянки автодороги визначені в березні 2013 р. за результатами наземного 3D-сканування відносно *St1* ( $x=0, y=0, H=0$ ) з точністю не гірше  $\pm 0,015$  м у плані і  $\pm 0,015$  м по висоті. Урівнювання й оцінку точності координат у програмному забезпеченні «*CycloneSCAN*» наведено на рис. 1.

Координати точок тимчасової знімальної мережі етапу робіт: *St3, St4, St9, St10*, в системі координат 1963 р. визначені в березні 2013 р. комплектом двохчастотних приймачів *GNSS Leica GX1230GG* і *ATX1230GG* в режимі статички від початкової точки знімальної мережі *St1*. Точність вимірювань відносно початкової точки знімальної мережі *St1*  $\pm 0,010$  м.

Абрис «зшитих» хмарин координованих точок з результатів сканування проїжджої частини всієї ділянки автодороги на етапі робіт наведено на рис. 2.

*TIN*-модель нерегулярної поверхні відсканованої проїжджої частини ділянки автодороги побудована в програмному забезпеченні «*CycloneSCAN*».

Тверде покриття дороги відтворено за фатичними розмірами й положенням у просторі.

Часткові ушкодження асфальту, утворені внаслідок інтенсивного руху автотранспорту і не пов'язані з деформаціями полотна дороги, на *TIN*-моделях не показувались з метою зменшення

графічного навантаження і обсягу інформації на магнітних носіях.

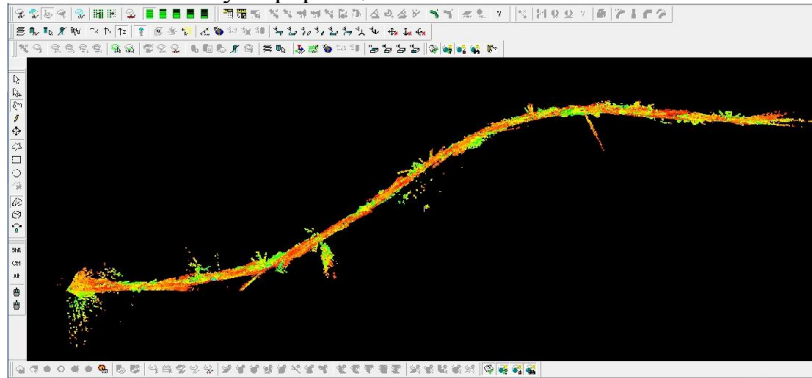


Рис. 2. Абрис хмарини координованих точок на проїжджу частину всієї відсканованої ділянки автодороги

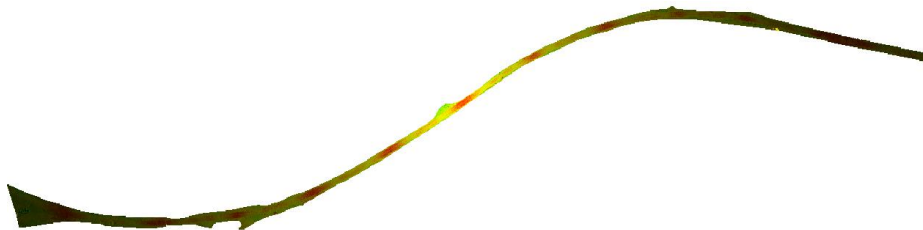


Рис. 3. Абрис TIN-моделі нерегулярної поверхні проїжджої частини ділянки автодороги з п'ятого сканування

Наземне лазерне сканування об'єкту на етапі робіт виконувалось у березні 2013 р. приладом «Leica ScanStation2». Для виконання нормативних вимог [1] встановлено основні робочі величини й умови сканування (табл. 1).

Таблиця 1

Основні робочі величини і умови сканування етапу робіт

Назва робочих величин (умов) сканування	Значення робочих величин (умови сканування)	Примітки
Точність визначення центра марки відносно станції сканування	$\pm 2$ мм	
Точність координованих точок об'єкту сканування відносно станції сканування	$\pm 5$ мм	
Крок (щільність) сканування: для всього об'єкту для області установки марок	10 мм на 10 м 1 мм на 50 м	
Максимальна відстань між станціями сканування	120 м	
Точність «зшивання» окремих сканів у загальну хмарину координованих точок відносно першої станції сканування	$\pm 10$ мм	
Визначення смуги сканування	Полотно (смуга твердого покриття й узбіччя) автодороги на ділянці сканування	На TIN-моделі нерегулярної поверхні відтворюються реальні розміри твердого покриття й узбіччя дороги
Загальна довжина полотна автодороги для сканування	1080 м	
Кількість станцій сканування	13	
Кількість точок тимчасової знімальної мережі	35	

Поділ всієї ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» на відрізки, за якими проводиться аналіз наведено на рис. 4.

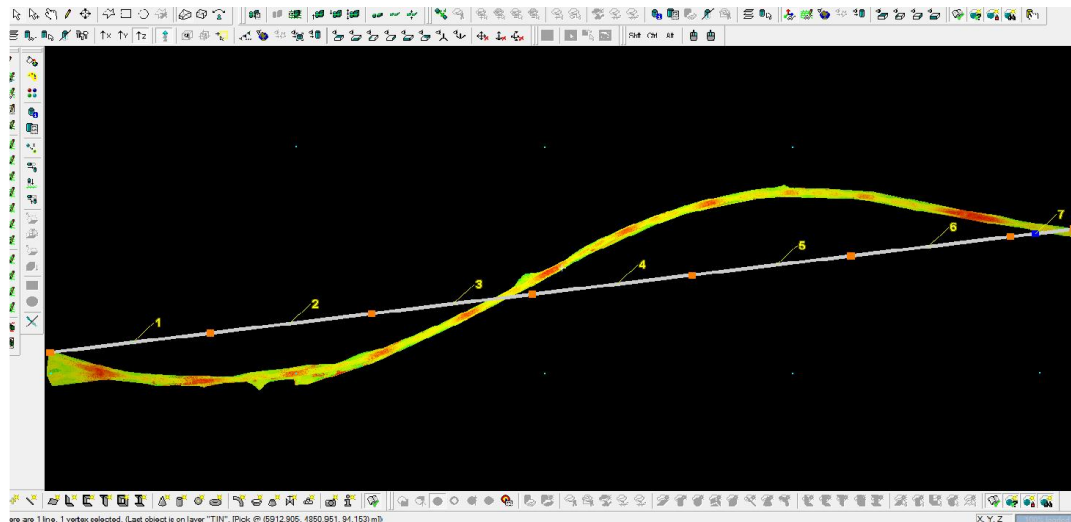


Рис. 4. Поділ всієї ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» на відрізки, за якими проводиться аналіз

Для проведення аналізу й побудови графіків розбіжностей по вісях координат  $x$ ,  $y$  та по висоті  $H$  вибрано крок між суміжними точками вздовж всієї кривої ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» - 3 м. Точки країв відрізків, за якими проводиться аналіз усєї ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне», пізнані на *TIN*-моделях нерегулярної поверхні проїжджої частини ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» з результатів сканування за елементами подібності і точками тимчасової знімальної мережі. На кожному відрізку ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» аналізу підлягають лінії лівого (північного), правого (південного) країв твердого покриття і осева лінія автодороги. Це полілінії побудовані і відображені на кожній з *TIN*-моделей нерегулярної поверхні за результатами сканувань.

З урахуванням пролягання досліджуваної ділянки автодороги із заходу на схід відрізки на-кладених одна на одну *TIN*-моделей нерегулярної поверхні з п'ятого й четвертого сканувань спроектовані на пряму лінію паралельну вісі  $y$ . Початок першого відрізка (0-180 м) віддалений від  $st1$  на 14,473 м.

За результатами проведеного аналізу графіків розбіжностей *TIN*-моделей нерегулярної поверхні проїжджої частини ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» по вісях координат  $x, y$  і по висоті  $H$  за результатами сканувань зроблено висновки.

Деформацій твердого покриття автодороги в плані на досліджуваній ділянці в березні 2013 р. не виявлено. Розбіжності *TIN*-моделей нерегулярної поверхні проїжджої частини ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» за полілініями країв і вісі твердого покриття за результатами сканувань по вісі координат  $x$  не перевищують  $\pm 0,010$  м, що є в межах точності вимірювань, по вісі координат  $y$  не перевищують  $\pm 0,010$  м, що є в межах точності вимірювань.

По висоті  $H$  виявлені деформації твердого покриття автодороги в березні 2013 р., що складають: на відрізку 1 (0-180 м) у межах від -0,022 м до +0,010 м; на відрізку 2 (180-360 м) у межах від -0,022 до +0,000 м; на відрізку 3 (360-540 м) у межах від -0,022 м до +0,000 м; на відрізку 4 (540-720 м) у межах від -0,058 до +0,005 м; на відрізку 5 (720-900 м) у межах від -0,090 до -0,050 м; на відрізку 6 (900-1080 м) у межах від -0,108 до -0,075 м. Активне просідання твердого покриття автодороги відбувається на спостережуваній ділянці від 585 м (0,000 м) до кінцевої точки досліджень -1080 м (-0,108 м).

Відповідно, має місце просідання і на якійсь частині твердого покриття автодороги далі - в бік «Техбази».

Комплекс робіт з наземного лазерного 3D-сканування проїжджої частини ділянки автодороги «Техбаза - кладовище «Західне» в м. Кривому Розі доцільно продовжувати, враховуючи наявність вертикальних (по висоті  $H$ ) деформацій твердого покриття дороги в 2013 р.

Отримані і опрацьовані в програмному забезпеченні «Cyclone», «AutoCad», «Graph» матеріали сканування можуть використовуватися для подальших досліджень даного об'єкту.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Метод наземного лазерного 3D-сканування за точністю кінцевих результатів і вартістю технологічного процесу доступний у

застосуванні для досліджень (визначення площ, об'ємів, деформацій, конфігурацій і точних розмірів) не лише лінійних об'єктів шляхів сполучення, а й відкритих кар'єрів розробки корисних копалин, підземних виробок будь-якої конфігурації і призначення. Враховуючи наявність у виробництві і на ринку спеціалізованих наземних лазерних 3D-сканерів, у тому числі й для гірничих робіт, ця технологія не лише доступна, але і єдина така, що забезпечує максимальну щільність і точність вимірювань без будь-яких наближень і апроксимацій.

#### Список літератури

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ. М.:Недра, 1987,-240 с.
2. GS100 3D laser scanner [Електронний ресурс]: сайт Mensi.- Режим доступу: <http://mensi.com/Website2002/Specs/SpecG100.pdf>.
3. GS200 3D laser scanner [Електронний ресурс]: сайт Mensi.- Режим доступу: <http://mensi.com/Website2002/Specs/SpecG200.pdf>.

Рукопис подано до редакції 19.03.13

УДК 622.1: 528.7

О.В. ДОЛГІХ, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИКЛЮЧЕННЯ «МЕРТВИХ ЗОН» ПРИ ЗНІМАННЯХ КАР'ЄРІВ

Розглянуто результати дослідження проблеми виникнення «мертвих зон» при наземному зніманні кар'єрів та способів мінімізації їх впливу на кінцевий результат. Використання новітніх технологій при маркшейдерському забезпеченні кар'єру дозволяє знайти оптимальне рішення задачі знімання конкретної ділянки з найбільш повним відображенням закритих територій та об'єктів.

**Проблема і її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Зони осідання та провалів, що виникають в результаті розробки корисної копалини підземним способом, несуть певну небезпеку навколишньому середовищу. Такі території небезпечні для перебування на них людей та споруд. Маркшейдерською службою гірничовидобувних підприємств ведеться облік таких територій, виконуються дослідження деформацій з метою запобігання розвитку негативних процесів, які можуть принести шкоду людям, будівлям, устаткуванню. Існуючі математичні методи з різним ступенем достовірності вирішують задачі опрацювання результатів вимірів на даних ділянках, і важливо визначитися з вибором найбільш ефективного методу.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Значний внесок у розвиток теорії прогнозування стану денної поверхні, яка знаходиться над підземними розробками корисної копалини, зроблено вітчизняними та зарубіжними вченими [4,5]. На теперішній час наука має значні можливості у вирішенні даної проблеми, що пов'язано з розвитком комп'ютерних технологій та математичних методів [1-3]. Важливим є також наявність сучасних високоточних приладів для виконання інструментальних спостережень.

**Постановка задачі.** На зміну старим аналоговим і рутинним приладам прийшли нові сучасні цифрові. Порівнюючи характеристики таких приладів, як: світловідалеміри і сучасні електронні тахеометри з одного боку, які дозволяють здійснювати вимірювання однієї довжини за деякий проміжок часу залежно від моделі приладу і умов спостереження (від 1 до 60 с); та сучасні лазерні сканери з другого боку, які мають надпотужні процесори і можуть вимірювати і оброблювати за одну секунду до 15000 довжин ліній з одночасним вимірюванням вертикальних і горизонтальних кутів.

Але навіть при суттєвих перевагах, сканери, при використанні їх для забезпечення гірничих робіт, не спроможні подолати перепони при зніманнях у вигляді так званих «мертвих зон».

«Мертві зони» або «мертві простори» відомі з наземного фототеодолітного та цифрового знімання і за спадковістю їх наслідували методи лазерного сканування.

Повністю виключити можливість виникнення «мертвих зон», використовуючи наземні дистанційні методи знімання фактично неможливо, але їх кількість можна зменшити: оптимізацією проекту виконання робіт з використанням інших способів знімання, наприклад тахеометричного способу; шляхом знімання з додаткових точок тощо.

**Викладення матеріалу та результати.** На кар'єрі «мертві зони», що виникають при фототеодолітному та лазерному зніманні, можна поділити на наступні види:

в екскаваторному вибої відсутня видимість нижніх брівок, що спричинено розташуванням у полі зору механізмів (рис. 1);