УДК 52-14

П.В.КОЛЬЦОВ, *канд. техн. наук, заведующий лабораторией, Kpavel@umbr.ru*
ОАО «Уралмеханобр», Екатеринбург

P.V.KOLTSOV, *PhD in eng. sc., laboratory head, Kpavel@umbr.ru*
OJSC «Uralmekhanobr», Yekaterinburg

МЕТОДИКА БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМИРУЮЩИМИСЯ УЧАСТКАМИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ И ОТВАЛОВ

Предложена методика наблюдений за деформациями бортов карьеров и отвалов с применением лазерного сканирования. Проведено сравнение результатов традиционных наблюдений и измерений по предлагаемой методике. Рассмотрено практическое внедрение на промышленных объектах.

***Ключевые слова*:** открытые работы, уступы и борта карьера, углы откосов, геомеханическая ситуация, деформации, мониторинг, лазерное сканирование, научно-техническое сопровождение, промышленная безопасность.

REFLECTIONLESS OBSERVATION TECHNIQUE OF DEFORMING EDGES OF OPEN-PIT MINES AND SPOIL DUMPS

Application of laser scanning for shooting procedure of open-pit mines' edges and spoil dumps deformations is offered. The results of traditional observations and measurements obtained with the help of the offered technique are compared. Practical implementation in industrial objects is considered.

***Key words*:** open works, benches and edges of open-pit mines, gradient of slope, geomechanical situation, deformation, monitoring, laser scanning, scientific and technical support, industrial safety.

Общие положения. Известно что, инструментальные маркшейдерские наблюдения являются основным средством получения информации о состоянии устойчивости бортов карьеров и отвалов и наиболее надежной основой для прогноза их устойчивости.

Наблюдения, анализ и интерпретация результатов наблюдений позволяют [3]:

1) определить размер смещений, деформаций, скорости развития процесса деформирования и границы распространения деформаций;

2) установить тип разрушающих деформаций прибортового массива пород;

3) установить взаимосвязь между факторами, определяющими устойчивость прибортового массива, и процессом деформирования бортов и откосов отвалов и определить количественные соотношения между ними;

4) определить критические размеры деформаций, предшествующие началу активной стадии деформирования, для различных инженерно-геологических комплексов горных пород;

5) контролировать ведение горных работ на деформирующихся участках бортов;

6) определить эффективность противооползневых мероприятий.

Методы наблюдений за деформациями бортов карьеров и отвалов, изложенные в «Методических указаниях…» [3], основаны на применении оптических нивелиров и теодолитов, а также систем стереофотограмметрии.

Как показала практика, основное распространение получили методы наблюдений, использующие линейно-угловые измерения для вычисления координат реперов наблюдательных станций. Фотограмметри-

ческие методы особого распространения не получили ввиду сложности их использования и сравнительно низкой точности определения смещений.

С момента издания «Методических указаний...» [3] прошло более 20 лет, за которые инструментальный парк маркшейдерско-геодезического оборудования существенно обновился. Значительное распространение получили системы спутниковой навигации GPS, позволяющие при определенных условиях обеспечить достаточную точность определения координат реперов. Сам же принцип создания наблюдательных станций в основном соответствует «Методическим указаниям...» [3].

Наиболее полную информацию о зоне распространения деформаций и возможность построения поверхности скольжения по инструментальным данным дает метод наблюдений по профильным линиям. Однако сложные горно-технические условия и развитие деформационных процессов зачастую препятствуют закладке реперов по прямым линиям по направлению, совпадающему с направлением смещения. Кроме того, ведение наблюдений в зоне деформаций часто связано с риском для жизни исполнителя.

В этой связи весьма актуальным становится вопрос об использовании лазерных безотражательных съемок для получения данных о пространственном положении исследуемого объекта на расстоянии.

Принцип работы лазерного сканера аналогичен принципу работы безотражательного электронного тахеометра и заключается в измерении времени прохождения лазерного луча от излучателя до отражающей поверхности и обратно до приемника. Путем деления этого времени на скорость прохождения лазерного луча определяется расстояние до объекта.

Существует два типа приборов – сканеры наземного базирования и маркшейдерские сканирующие системы для подземных работ. Различие типов приборов подразумевает и различие в технологиях и области их применения.

Наземное лазерное сканирование заключается в измерении расстояний до большого количества точек, расположенных на снимаемом объекте. Измерения происходят со скоростью 2000 точек в секунду. Углы в данном случае не измеряются, а задаются поворотом зеркала, одновременно они регистрируются запоминающим устройством.

Суть метода состоит в практически мгновенном получении координат десятков тысяч точек, расположенных на сканируемом объекте. Для этого не нужны непосредственный доступ к объекту и отражатели, а необходима прямая видимость.

Выбор опорных съемочных точек схож с традиционной методикой, но время, необходимое для полевых работ, как правило, сокращается на порядок. Камеральная обработка отличается от традиционной значительным объемом исходных данных. Как правило, по результатам сканирования составляется массив точек с трехмерными координатами, конвертируемый в CAD- и ГИС-приложения для моделирования исследуемого объекта.

Существует несколько типов лазерных сканеров наземного базирования различных производителей. Они отличаются размерами, точностью, областью сканирования, дальностью, температурным режимом и другими параметрами [1]. Помимо непосредственно лазерных сканеров функцией сканирования снабжаются роботизированные тахеометры последних поколений.

Область применения лазерных сканеров: при съемке горно-технических объектов как для создания, так и для оперативного пополнения цифровых моделей; при съемке сложных промышленных сооружений и конструкций для создания моделей сооружений с целью инвентаризации, реконструкции и проведения инженерных расчетов; при наблюдениях за деформациями для определения размера и направления смещений по цифровой модели для каждого цикла наблюдений.

Согласно проведенным в работе [2] исследованиям, точность математической аппроксимации подробностей горно-технических объектов обеспечивается точностью инструментов, методикой съемки и расстоянием между пикетами, расположенными вдоль явно выраженных элементов объекта моделирования, не более 7 м. Данная точность необходима для обеспечения точности подсче-

та объемов и правильности геометрического построения конфигурации борта. На основе полученных результатах исследований была разработана и апробирована на производстве методика наблюдений за деформациями методом лазерного сканирования. Поскольку наблюдения за деформациями требуют более точного определения геометрии исследуемого участка, расстояние между снимаемыми точками было уменьшено до 3 м.

Суть наблюдений сводится к координатной привязке и сканированию участка исследований (зоны деформаций) с достаточной для обеспечения адекватности моделирования плотностью наблюдений. Периодичность сканирования определяется исходя из стадии деформационных процессов. По результатам каждой серии сканирования рассчитывается трехмерная модель исследуемого участка. Поскольку координаты участка известны, при совмещении моделей нескольких серий наблюдений можно проследить динамику развития оползневых процессов. Для наглядности выбирается несколько параллельных смещению профильных линий, по которым оценивается скорость и размер смещений. Кроме того, по результатам моделирования рассчитывается объем деформаций между исходной серией и последующими наблюдениями.

Исследование обрушений на Учалинском карьере. В настоящее время на Учалинском карьере идет отработка локальных участков карьера открытым способом. Выемка законтурных запасов руды открытым способом возможна при повышении углов откосов уступов и при недостаточной геологической изученности строения массива, может сопровождаться локальными вывалами, обрушениями и частичным либо полным разрушением уступов.

Одновременно с началом горных работ на юго-восточном участке борта Учалинского карьера был разработан проект наблюдательной станции и проведена исходная серия наблюдений. Проектом предусмотрено проведение наблюдений по реперам, заложенным выше участка отработки, и лазерное сканирование области исследований.

На рассматриваемом участке в 2008 г. произошли деформации уступа. Горные работы были приостановлены. Инструментальные

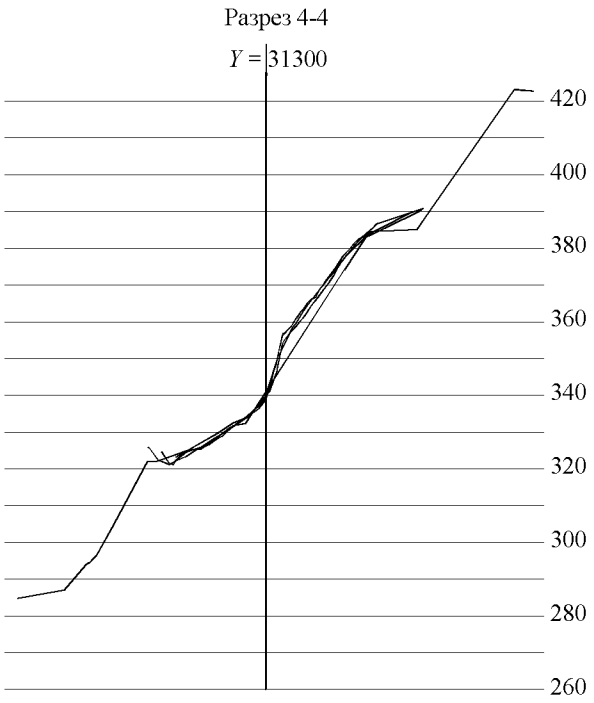


Рис.1. Разрез по линии 4

наблюдения по реперам, проводившиеся с периодичностью 1 раз в неделю, показали затухание деформационных процессов.

Классические инструментальные наблюдения были дополнены лазерным сканированием участка обрушения с использованием тахеометра Trimble S6. Сетка сканирования составляла порядка 3×3 м в зависимости от отражающей способности горных пород. Расстояние до участка сканирования 200-300 м. По результатам сканирования для каждой серии наблюдений были построены трехмерные модели.

Согласно методике наблюдений, по профильным линиям на плане участка съемки было намечено несколько линий, расположенных параллельно направлению смещений. В отличие от традиционной методики данные линии имеют только координатную привязку к участку наблюдений. Реперы по линиям не закладываются, а профиль рассчитывается по модели.

Анализ результатов лазерного сканирования шести серий наблюдений по профильной линии 4 (рис.1) показал, что основные деформации в виде обрушений и частичного разрушения берм безопасности произошли после подработки систем скры-



Рис.2. Схема деформирования борта

тых трещин. Дальнейшего развития деформационных процессов не происходило, что подтверждается наблюдениями по реперам.

Исследование обрушений на Сибайском карьере. Открытая отработка Сибайского карьера в настоящее время завершена. Однако в бортах карьера остались законтурные запасы, отработка которых даст высокий экономический эффект. В результате ведения подземных горных работ был подработан охраняемый участок капитального съезда, что спровоцировало активизацию деформаций на нижних горизонтах западного борта, в том числе участка действующего транспортного съезда. Поскольку активная стадия деформаций протекала с частичным разрушением вышележащих уступов, инструментальные наблюдения по реперам были прерваны из-за опасности проведения съемок в зоне обрушения.

Для уточнения схемы деформирования уступа сотрудниками ОАО «Уралмеханобр» были проведены две серии наблюдений откоса на участке деформации методом лазерного сканирования с использованием электронного тахеометра. На основе полученных данных по каждой серии наблюдений были построены трехмерные модели участка съемки на обе указанные даты. Наложение построенных поверхностей позволило проследить изменение конфигурации оползня (рис.2).

Наблюдалось перераспределение объемов пород, слагающих оползневый участок (рис.3). В то время как в верхней части деформирующегося уступа отмечается просадка объемом около 5,7 тыс.м^3, в нижней части прослеживается выпирание пород объемом порядка 10,3 тыс.м^3. Значительное увеличение объема оползня говорит о высокой степени нарушенности слагающих его пород.

Анализ результатов лазерного сканирования показал, что схема деформаций протекала по плавной поверхности скольжения с образованием просадок в верхней и выпиранием горной массы в нижней части уступа. Это позволило исключить предположения о проседании съезда в пустоты, образованные подземными горными работами.

Заключение. С момента издания нормативной документации по наблюдениям за состоянием устойчивости бортов карьеров и отвалов, а также сдвижением горных пород прошло более 20 лет, поэтому необходимо ее обновление, обобщающее накопленные результаты исследований в области проведения инструментальных наблюдений и процессов развития деформаций.

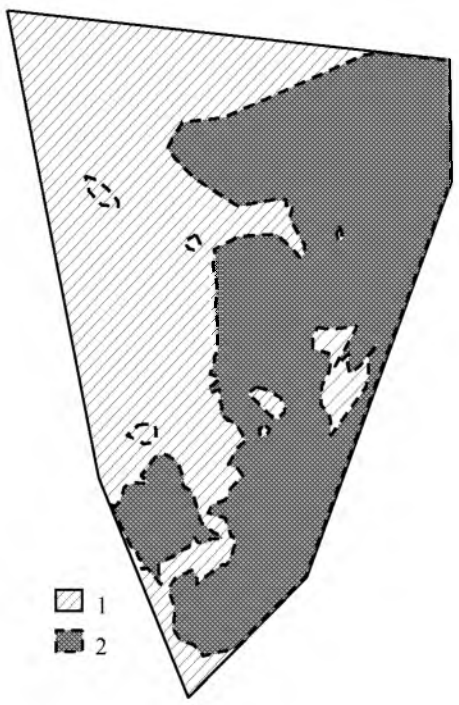


Рис.3 Схема деформирования участка борта в плане
1 – просадки; 2 – выпучивание

Проведенные исследования показали, что методы лазерного сканирования, при определенных условиях, позволяют получить достоверную информацию о состоянии деформирующегося участка борта. Все наблюдения с помощью лазерного сканирования по возможности дублировались традиционными наблюдениями по реперам, что позволило оценить адекватность результатов.

Во всех случаях на основе сходимости результатов подтверждаются закономерности развития деформационных процессов, а именно: на Учалинском карьере – деформации стабилизировались; на Сибайском карьере – проседание поверхности со смещением реперов в сторону карьера и выпиранием нижней части оползня.

Таким образом, применение методов лазерного сканирования является одним из наиболее эффективных и безопасных способов проведения инструментальных наблюдений на деформирующихся участках бортов карьеров и отвалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барков Р.Р.* Лазерное сканирование сооружений и подземных горных пустот // Маркшейдерия и недропользование. 2004. № 2. С.25-27.

2. *Кольцов П.В.* Совершенствование методов компьютерного моделирования горно-технических объектов для маркшейдерского обеспечения открытых горных работ: Автореф. дис. … канд. техн. наук. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 19 с.

3. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов карьеров и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости / ВНИМИ. Л., 1987. 117 с.

REFERENCES

1. *Barkov R.R.* Laser scanning of constructions and underground voids // Mine surveying and subsurface resources management. 2004. № 2. P.25-27.

2. *Koltsov P.V.* Improvement of computer modelling methods of mining objects for surveying maintenance of open-pit works: Research Paper … PhD in eng. sc. / UGGU. Ekaterinburg. 2006. 19 p.

3.Methodological instructions on observation for open-pit mines' slopes and spoil dumps deformations, interpretation of their results and stability forecast / VNIMI. Leningrad, 1987. 117 p.