УДК 528:[482 + 8.04]

А.В.КОВЯЗИН, *аспирант, artemkovyazin@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.V.KOVYAZIN, *post-graduate student, artemkovyazin@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНО-СКАНИРУЮЩЕЙ СЪЕМКИ ОТВАЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Приводится описание организации системы мониторинга устойчивости отвала фосфогипса ООО «Балаковские минеральные удобрения». Приведена методика наблюдений с использованием лазерно-сканирующих систем. Рассмотрен процесс обработки результатов лазерно-сканирующей съемки.

Ключевые слова: геодезические приборы, наблюдения, осадки, деформации, сдвижение земной поверхности, реперы, лазерно-сканирующие системы.

USING OF LASER SCANNING SURVEY OF BARROW FOR DEFORMATION MONITORING

The paper describes the organization of monitoring the stability of the barrow of phosphogypsum LLC «Balakovo mineral fertilizers». The technique of observation using a laser-scanning systems is discussed. The process of processing the results of the laser scanning survey is shown.

Key words: geodetic instruments, observations, subsidence, deformations, displacements of the earth's surface, control points laser-scanning systems.

Одним из вторичных продуктов производства ООО «Балаковские минеральные удобрения» является фосфогипс. Данное вещество складируется в отвал, который занимает площадь примерно 100 тыс.м^2 (10 гектаров), его высота составляет 50-55 м, а сложная геометрическая форма осложняет процесс съемки. По периметру отвала расположены бетонные лотки, собирающие воду с отвала. Деформации этих лотков в восточной части отвала послужили причиной организации системы мониторинга. Кроме того, для прогноза устойчивости отвала и оптимизации его высоты, помимо физико-механических характеристик пород отвала, потребовалось определить его геометрические параметры (высоту и угол падения откосов). В связи с этим в мониторинг, наряду с традиционными периодическими наблюдениями за деформационным состоянием отвала, были включены лазерно-сканирующие технологии съемки.

Организация системы мониторинга включала в себя несколько этапов:

1) построение планово-высотного обоснования для привязки реперных станций и лазерно-сканирующуей съемки;

2) закладка деформационных реперов по профильным линиям;

3) планово-высотная привязка деформационных реперов;

4) производство лазерно-сканирующей съемки.

Построение планово-высотного обоснования осуществлялось методом проложения теодолитных ходов от пунктов геодези-

ческих сетей сгущения, построение высотного обоснования – методом тригонометрического нивелирования. Для производства измерений применялся электронный тахеометр «Sokkia SET 1130 R» (среднеквадратическая ошибка измерения угла 1″, среднеквадратическая ошибка измерения длины линии $2 + 2 \cdot 10^{-6}$). Измерения горизонтальных углов выполнялись методом приемов одним полным приемом, линейные измерения выполнялись дважды в прямом и обратном направлениях, зенитные расстояния измерялись дважды в прямом и обратном направлениях.

Закладка реперов производилась в наиболее вероятных местах деформаций. Было заложено 8 профильных линий, состоящих из 61 репера. Профильная линия состоит из 7-8 реперов. Первый репер закладывали в верхней точке откоса, второй – в подошве рядом с бетонными лотками. Остальные реперы были заложены после насыпной дамбы с шагом 15 м и 2 опорных репера на расстоянии 50 м от крайнего репера (рис.1).

Координаты всех реперов профильных линий были определены от пунктов планово-высотного обоснования. Высоты реперов определялись тригонометрическим нивелированием.

Съемка производилась лазерным сканером «Riegle LMS 420i». Данный прибор выбран из-за дальности его действия, которая составляет около 1000 м. Для последующей ориентировки сканов в единой системе координат при сканировании использовались марки внешнего ориентирования, которые координировались электронным тахеометром. На каждой стоянке устанавливалось 5-6 марок по спирали на расстоянии 10-30 м от места стоянка сканера и с разницей высот не менее 1 м для ориентирования скана с наименьшей ошибкой (рис.2). Всего было сделано 11 стоянок лазерного сканера. В результате полностью охвачен отвал по периметру и частично его верхняя часть.

Управление лазерным сканером и ориентировка сканов в местной системе координат производилась по маркам внешнего ориентирования с помощью программного обеспечения RiSCAN PRO.

В результате съемки были получены 11 трехмерных точечных моделей (сканов). Из-за больших расстояний (порядка 200-400 м) для построения модели поверхности была повышена плотность сканирования, что привело к избыточности информации на малых расстояниях. Кроме того, попала «лишняя информация», поскольку сканирование в горизонтальной плоскости производилось на 360°. Из-за этого сканы включали в себя около 50 % лишней информации. Полученный скан занимал объем памяти в формате файла «TXT» около 70 МБ, а в формате «DXF» – около 150 МБ. Первая стадия обработки проводилась в программном продукте Geomagic Studio 11, который позволяет убрать лишние точки и отфильтровать оставшиеся путем равномерного разрежения плотности скана до оптимальных параметров 4-6 точек на квадратный метр.

После получения оптимальных точечных моделей была построена триангуляционная модель поверхности в различных программных продуктах: GModeler и Rapidform XOR2 для их сравнения и дальнейшей обработки. Программа GModeler позволяет быстро строить триангуляционную модель и редактировать ее: убирать пики, полученные в результате ложных отражений, помехи от столбов электропередачи, деревьев, осветительных вышек и т.д. При построении модели можно задать шаг сети и полностью перекрыть черные зоны (места, где отсутствуют точки лазерных отражений), что позволяет создать оптимальную модель для дальнейшей обработки ее в программе AutoCAD. В ней производятся построения бровок отвала. Программа GModeler, как и многие другие программные продукты, не позволяет делать это в автоматическом режиме, хотя может строить горизонтали. Функция построения горизонталей используется для построения плана верхней плоскости отвала. Один из главных плюсов GModeler – прямой экспорт в AutoCAD.

Программа Rapidform XOR2 позволяет построить разрезы по плану, рассекая разноименные сканы в одном и том же месте. Это дает возможность выполнить оценку точности съемочных работ путем сравнения

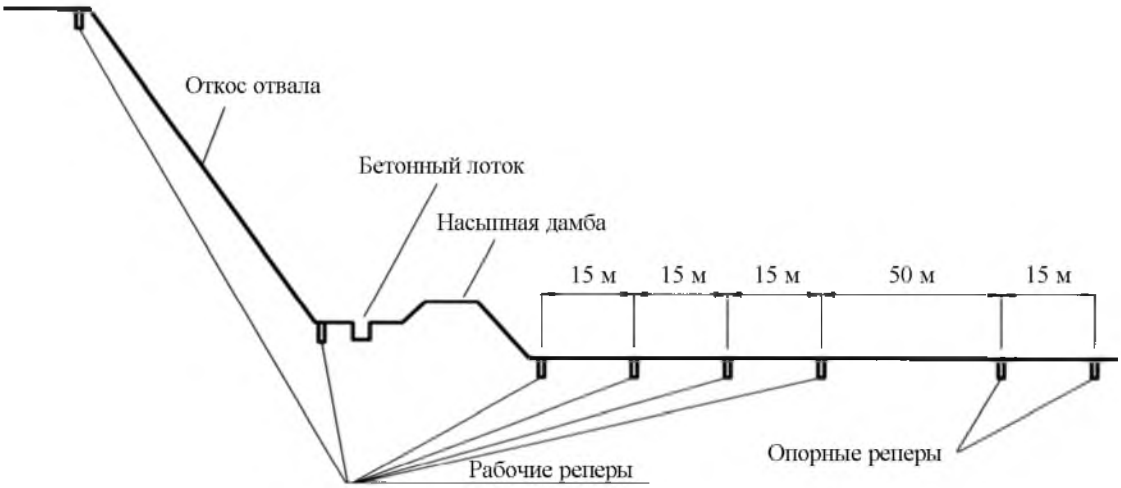


Рис.1. Схема закладки реперов в профильной линии

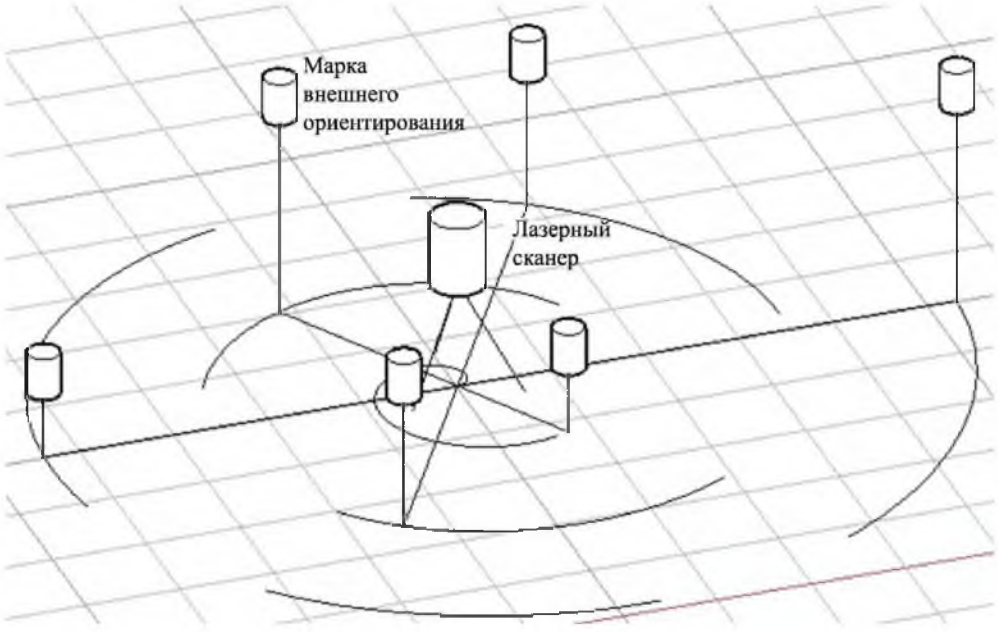


Рис.2. Схема расположения марок внешнего ориентирования

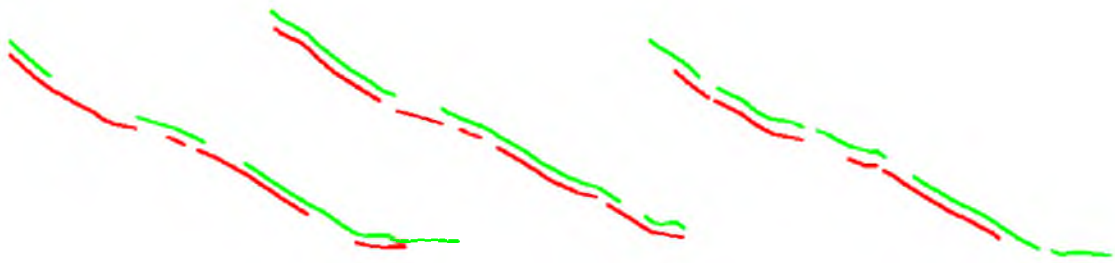


Рис.3. Сравнение сечений двух разноименных сканов в AutoCAD

сечений разных сканов в зонах перекрытия. По построенным сечениям видно, что сканы имеют ошибку положения в плане, колеблющуюся от 20 до 30 см (рис.3). В результате рассечения модели были получены углы падения откосов, которые колеблются от 21 до 29°.

Таким образом, с использованием лазерно-сканирующей системы была построена объемная модель отвала, которая позволит, с одной стороны, по выделенным сечениям отслеживать фактические деформации отвала по мере накопления данных последующих съемок, с другой, – для конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния пород прогнозировать развитие деформационных процессов.