УДК 622.1:528.482

М.Г.МУСТАФИН, *д-р техн. наук, профессор, mustafin_m@mail.ru*
А.В.КОВЯЗИН, *аспирант, artemkovyazin@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

M.G.MUSTAFIN, *Dr. in eng. sc., professor, mustafin_m@mail.ru*
A.V.KOVYAZIN, *post-graduate student, artemkovyazin@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Приводится сравнение классических методов инструментальных наблюдений за устойчивостью откосов с технологиями съемки, основанными на применении лазерных сканирующих систем, на примере организации системы мониторинга устойчивости отвала фосфогипса ООО «Балаковские минеральные удобрения». Для повышения эффективности работ по мониторингу устойчивости отвалов предлагается использование пространственных моделей объектов, полученных по результатам лазерно-сканирующих съемок.

***Ключевые слова*:** геодезические приборы, наблюдения, осадки, деформации, сдвижение земной поверхности, реперы, лазерные сканирующие системы, пространственные модели.

USING OF SPATIAL MODELS OF OBJECTS FOR GEODETIC MONITORING OF DEFORMATION PROCESSES

The paper presents comparison of classical methods of instrumental observations of slope stability with survey technology based on the use of laser scanning systems, as an example of the organization of monitoring the stability of the phosphogypsum stack Ltd «Balakovo mineral fertilizers».

***Key words*:** surveying instruments, observations, settlement, deformation, Earth's surface displacement, survey marks, laser scanning systems, spatial models.

У многих предприятий горно-добывающей и химической промышленности технологический процесс включает образование отвалов. На горных предприятиях они могут быть сложены пустой породой, на предприятиях химической промышленности – различными химическими соединениями и их комбинациями с различными геомеханическими свойствами, что осложняет расчеты устойчивости отвалов и требует детального изучения инженерно-геологического строения отвала, а также выполнения натурных геодезических наблюдений за деформациями тела отвала.

Целью таких наблюдений являются: установление границ зоны деформаций и их вида, определение скорости и размера деформаций, установление предельных заключений смещений и разработка прогнозов развития деформационных процессов.

В соответствии с действующими нормативными документами*, организация таких наблюдений состоит из нескольких этапов:

* Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости / ВНИМИ. Л., 1971. 186 с.

Instructions for observations strains sides slopes benches and dumps in the quarries and development activities to ensure their stability / VNIMI. Leningrad, 1971. 186 p.

1. Закладка наблюдательной станции, состоящей из группы профильных линий опорных и рабочих реперов, с учетом дальнейшего развития отвала, а также учитывающей рельеф местности, технологию образования отвала, инженерно-геологическое строение грунтов основания и тела отвала и другие факторы, влияющие на информативность результатов наблюдений и сохранность пунктов.

2. Привязка пунктов к местной геодезической сети.

3. Выполнение начального цикла наблюдений.

4. Производство периодических наблюдений.

В представленном перечне наиболее ответственным и трудоемким является этап проектирования и закладки наблюдательной станции, так как данные, полученные из наблюдений, должны объективно отражать протекающие в отвале деформационные процессы, следовательно, количество и положение реперов должны быть достаточными для верной интерпретации данных наблюдений.

Определять плановое положение пунктов следует методом триангуляции или проложением ходов полигонометрии, высотное – геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

Наличие современных устройств, таких как лазерные сканеры, позволяет сравнить классические нормативно установленные методики с современными.

Объектом исследования послужил отвал фосфогипса ООО «Балаковские минеральные удобрения». При организации системы мониторинга, наряду с традиционными периодическими наблюдениями за состоянием устойчивости откосов отвала, применялись лазерно-сканирующие технологии съемки.

Организация системы мониторинга включала несколько этапов:

1) закладка реперов по профильным линиям;

2) построение планово-высотного обоснования для привязки реперов и лазерно-сканирующей съемки;

3) планово-высотная привязка реперов;

4) производство лазерно-сканирующей съемки.

Закладка реперов производилась в наиболее вероятных местах деформаций. Было заложено восемь профильных линий, состоящих из 61 репера. Профильная линия II состоит из восьми реперов. Первый репер был заложен в верхней точке откоса, второй в подошве, остальные реперы – после насыпной дамбы с шагом 15 м; два опорных репера – на расстоянии 50 м от крайнего репера[**].

Плановая привязка реперов была выполнена проложением хода полигонометрии. Высотное положение реперов определялось из тригонометрического нивелирования. При выполнение работ по привязке использовался электронный тахеометр «Sokkia Set 1130R3».

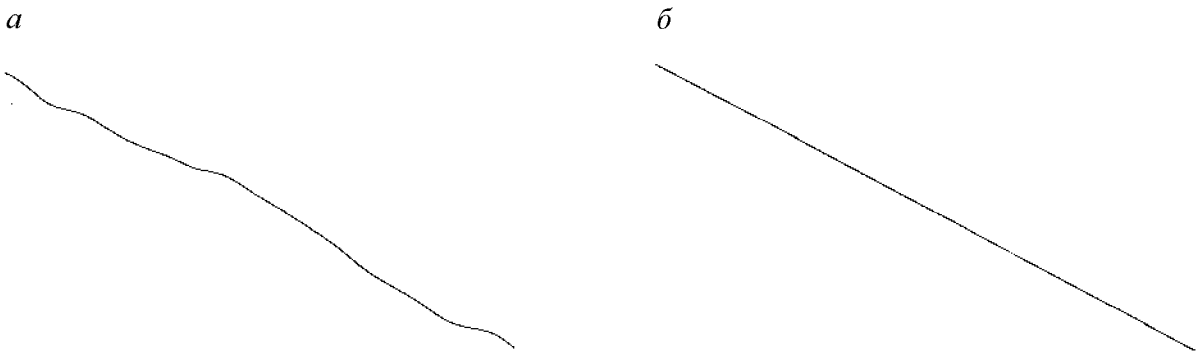
Съемка производилась лазерным сканером «Riegl LMS Z420i». Для последующего внешнего ориентирования облаков точек при сканировании использовались марки внешнего ориентирования, которые координировались электронным тахеометром с пунктов планово-высотного обоснования. На каждой станции сканера устанавливалось пять-шесть марок по спирали на расстоянии 10-30 м от места стоянки сканера и с разницей высот не менее 1 м для ориентирования скана с наименьшей ошибкой. Было выполнено три цикла наблюдений с периодичностью в 6 мес.

По результатам съемок были получены трехмерные точечные модели (сканы), впоследствии объединенные в общую модель отвала для каждого цикла наблюдений.

После получения оптимальных точечных моделей были построены триангуляционные модели поверхности отвала. Затем в местах расположения профильных линий были получены сечения моделей, в даль-

[**] *Васильев М.Ю.* Применение лазерно-сканирующих технологий при мониторинге отвала фосфогипса / М.Ю.Васильев, А.В.Ковязин // Маркшейдерское обеспечение рационального использования и охраны недр: Межвуз. сб. науч. тр. / Юж. Рос. гос. тех. ун-т (НПИ). Новочеркасск, 2011. С.65-71.

Vasiljev M.Y., Kovyazin A.V. Using of laser scanning technologies for monitoring phosphogypsum stack // Mine survey assistance of rational use and protection of natural resources: Intercollege collection of scientific papers / Southern Russian state university (NPI). Novocherkassk, 2001. P.65-71.



Эпюры деформаций поверхности отвала по линии I-I, полученные по результатам сравнения моделей (*а*) и перемещениям рабочих реперов (*б*)

нейшем использованные для построения эпюр деформаций. Аналогичные эпюры были построены по результатам наблюдений по классической методике (см.рисунок).

По результатам выполненных работ можно сделать несколько выводов:

1. Модели, полученные с использованием лазерно-сканирующей съемки, позволяют более точно определить границы зон сдвижений разной направленности по причине своей непрерывности, в отличие от дискретности данных, получаемых при наблюдениях классическими методами.

2. Точность моделей соответствует требованиям, предъявляемым к точности результатов измерений, тем более что размер векторов перемещений в десятки раз превышает точность полученных моделей.

3. Пространственные модели позволяют получить параметры сдвижения точек поверхности на любом участке объекта, что позволяет свести к минимуму работы по закладке и инструментальным наблюдениям по реперам и профильным линиям, а также исключает проблему утраты и восстановления рабочих реперов.