

А.И. Косолапов, А.В. Токаренко

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

Рассмотрены перспективы внедрения GPS аппаратуры, позволяющей в автоматическом режиме проводить мониторинг деформаций бортов глубоких карьеров. Приведена программа ее внедрения в условиях карьера «Восточный».

Ключевые слова: устойчивость бортов, GPS-аппаратура, технология, программное обеспечение, точность наблюдений по маркшейдерским измерениям, мониторинг наблюдений.

Семинар № 17

При доработке крутопадающих месторождений полезных ископаемых обостряется проблема обеспечения устойчивости бортов карьера и необходимость автоматизации за наблюдением их деформаций. Причем, требуется оперативный и непрерывный мониторинг за бортами карьера. Применяемые в настоящее время методы подобных наблюдений основаны в основном на закладке наблюдательных станций в контролируемых точках карьерного поля. Деформации определяют по результатам геодезических измерений, выполняемых с заданной периодичностью. Данная работа весьма трудоемка и не обеспечивает оперативное получение необходимых данных. Альтернативой этому методу могут служить GPS технологии, которые до недавнего времени использовали для наблюдения за сдвижением архитектурных объектов и сооружений.

В последние годы использование спутниковой геодезии для наблюдений за процессом сдвижения земной поверхности и породного массива горных выработок на горных предприятиях расширилась. Накоплен положительный опыт применения GPS на зарубежных карьерах Letlhakane, Venetia Diamond Mine (разработка

кимберлитов); Highland Valley (разработка медных руд) и ряда других.

В России GPS технологии для наблюдения за деформациями земной поверхности и горного массива применяют на карьере Удачный, шахте Сарановская-Рудная, Таштагольском руднике, карьере Центрального рудника ОАО «Апатит».

К настоящему моменту имеется существенное количество наработок, как в сфере аппаратной компоновки наблюдательных маркшейдерских сетей, так и программных продуктов, обеспечивающих анализ и обработку поступающей информации от деформационных датчиков.

Одним из примеров спутниковой геодезической аппаратуры используемой в отечественной практике является аппаратура WILD GPS-System 200 и TOPCON, которая нашла применение при проведении специальных маркшейдерских работах по наблюдению за деформациями бортов карьера «Удачный» (АК «АПРОСА»).

Одними из основных предприятий производителей, GPS аппаратура которых используется при создании систем сбора и обработки информации (GPS приемников и коммуникационного оборудования) являются Leica



Рис. 1. Станция GPS, в вариантах исполнения: GPS-L1-900S-S50 либо GPS-L2-900S-S100

Geosystems, Trimble, Garmin и др (рис. 1).

В области программного обеспечения, позволяющего полностью автоматизировать режим управления деформационными датчиками, осуществлять сбор и архивирование статистических данных, обработку данных в реальном времени, а также оповещать о превышении допустимых значений деформаций наибольших успехов достигли следующие компании: InteTrak (Orion Monitoring Systems, Inc); 3D Tracker (Condor Earth Technologies); GPS RTK software (Geodetic Research Laboratory (GRL) at UNB). Фрагменты, получаемого при этом интерфейса, показаны на рис. 2.

Геомеханический контроль на карьерах проводят с целью получения достоверной картины «жизни» заоткосного массива на различных стадиях разработки месторождения. Одним из направлений обеспечения такого контроля является проведение инструментальных наблюдений, от достоверности реализации последних за-

висит адекватность и своевременность принятия решений по возникающим деформациям прибортового массива. Неадекватное реагирование, на возникающие в прибортовых массивах деформации, может привести к гибели или потере работоспособности людей и увеличению издержек производства.

Безусловно, то, что происходящие обрушения, оползни и другие виды деформаций прибортовых массивов горных пород карьеров являются совокупным сочетанием ряда факторов, а именно: физико-механических свойств горных пород и поверхностей анизотропии; структурно-тектонического строения породного массива; положение уровня воды в бортовых массивах; технологические особенности ведения горных работ; параметры горной выработки. Поэтому ориентирование только на систему визуальных и инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений за сдвигами горных пород было бы в корне не верно. Однако если учесть, что подобные наблюдения преследуют достижение ряда различных целей. Одна из них это обеспечение оперативного мониторинга за развивающимися в реальном времени деформациями откосов. В виду того, что горный массив обычно неоднороден, то функция развития скорости деформации зачастую носит не линейный характер. В связи, с этим для определения точки перехода рядовых смещений в зону критических, необходимы высокоточные инструментальные наблюдения с короткими интервалами между сериями.

В настоящее время карьер «Восточный» уже достиг глубины 410 м и к концу отработки его глубина составит 700 м. Существует реальная возможность дальнейшей его углубки после окончания отработки третьей очереди.

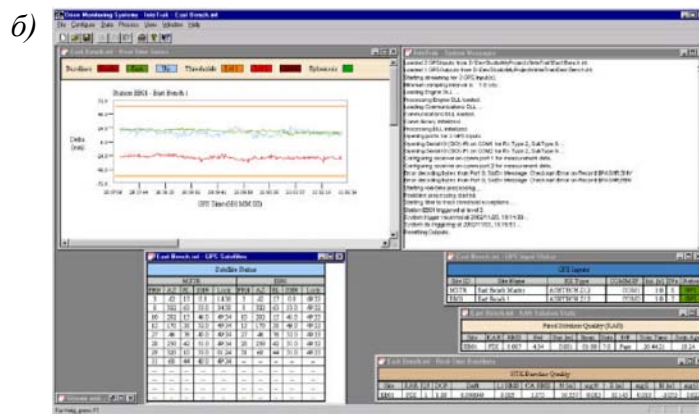
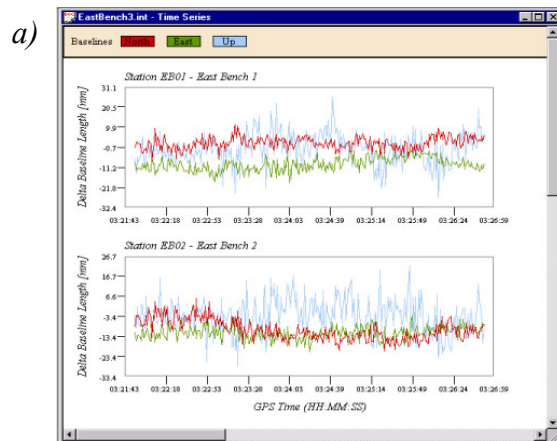


Рис. 2. Фрагменты интерфейса программного обеспечения InteTrak

Данный карьер является ярким представителем глубоких карьеров и для него присущи все характерные для них проблемы. Поэтому на этапе разработки методики анализа и интерпретации данных по смещениям координатных точек (наблюдательных станций) необходимо решить ряд принципиальных технических и организационных вопросов, обусловленных нижеперечисленными особенностями. Приемник GPS измеряет фазу поступающего от спутника сигнала на миллиметровом уровне точности. Поскольку сигналы на своем пути распространения до земной поверхности проходят через атмосферу, то они

подвергаются ее влиянию и это приводит к понижению точности наблюдений.

Имеющийся опыт показывает, что для обеспечения требуемой точности наблюдений необходимо в рамках изучаемого объекта разработать методику определения ряда основных и вспомогательных параметров, а именно:

- погрешности расчета координат рабочих реперов во время проведения кинематических съемок, при выполнении операции центрирования GPS-приемников;
- оптимального диапазона времени (спутниковых эпох) для про-

изводства достаточного количества набора данных, необходимых для определения точных координат рабочего репера;

- оптимальной длины сегментов профильной линии.

Камеральную обработку измерений – расчет длины базовых линий, следует производить с использованием прецизионных спутниковых эфемерид

На заключительном этапе обработки необходимо отладить механизм осуществления полного уравнивания деформационной сети по методу наименьших квадратов с использованием в качестве жестких пунктов с известными координатами опорных реперов сети. Рабочим реперам наблюдательной станции присваиваются имена таким образом, чтобы для каждой эпохи измерений это имя было уникальным. В процессе уравнивания сети производится внутренний контроль – сравнение пространственных координат повторно определяемых реперов наблюдательной станции. Как правило, это расхождение не превышает 2-3 мм.

Помимо решения вопросов достижения требуемой точности при формировании и последующем использовании ГЛОНАСС/GPS инфраструктуры в рамках теперь уже комбинированной системы маркшейдерских наблюдений, для увеличения мобильности которой необходимо разработать методику выбора наиболее рациональных технических средств наблюдения для условий типизированных зон проявлений деформаций в прибортовых массивах карьера.

Очевидно, что при разработке методики полного анализа и интерпретации деформационных процессов на различных временных интервалах, необходимо критически оценить су-

ществующие программные пакеты систем сбора и обработки информации о смещениях, это в последующем позволит более качественно и адекватно оценивать динамику деформационных процессов происходящих в прибортовых массивах карьера.

При создании комбинированной системы маркшейдерских наблюдений необходимо в увязке с существующей инфраструктурой, так и за ее рамками разработать серию автоматизированных наблюдательных маркшейдерских станций, которые бы позволяли решать задачи различной масштабной направленности, а именно:

- целого борта карьера;
- фрагмента протяженного участка борта карьера;
- уступа.

Подобного рода дифференциация уровня распространения ответственности, безусловно, отразится на вариантах исполнения и коммуникационной оснащенности наблюдательных станций, что позволит придать маркшейдерским наблюдениям достаточно высокую степень мобильности и оперативности, без существенного ущерба точности в решении вопросов наблюдения за деформациями.

В рамках соблюдения концепции описанной для обустройства автоматизированных наблюдательных маркшейдерских станций могут полностью использоваться существующие и вновь создаваемые в рамках системы организации мониторинга за деформациями бортов карьера «Восточный» базисные и рабочие наблюдательные станции с необходимой доработкой под требования GPS оборудования.

Целью внедрения данной методики мониторинга является получение полной и достоверной информации о развитии процесса деформирования

бортов и уступов карьера «Восточный» в рамках 3-ей очереди и для прогнозирования состояния массива в случае отработки возможной 4-й очереди.

Внедрение системы мониторинга с использованием ГЛОНАСС/GPS позволит непрерывно отслеживать трехмерные координаты датчиков, при этом будет обеспечен:

- анализ результатов непосредственно по измерениям, без использо-

вания вторичных технологий интерполяции и моделирования;

- принцип удаленного доступа к данным без необходимости физического посещения датчиков;

- контроль в течение 24 часов в сутки без участия оператора;

- оперативный и адекватный прием инженерно-технических решений в случаях возникновения негативных деформационных процессов в приобортовых массивах карьера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Панжин А.А.* Наблюдение за сдвижением земной поверхности на горных предприятиях с использованием GPS [Текст] // Известия Уральского государственной горно-геологической академии №11 – ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург, 2000. С.196-203.

2. *Sakurai S., Shimizu N.* Monitoring the stability of slopes by GPS [Текст] // International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering – SAIMM, 2007. pp.353-359.

3. *Kim D. (Don), R.B. Langley J. Bond A. Chrzanowski* Local deformation monitoring using GPS in an Open Pit mine: Initial study [Текст] // GPS Solutions №7, 2003. pp.176-185.

4. *Chrzanowski A.* Accuracy evaluation of geodetic monitoring of deformations in large Open Pit mines [Текст] // 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006.

5. *Zahariadis H., Tsakiri M.* Low cost monitoring system in the Open Pit lignite mines of Megalopoli, Greece [Текст] // 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006.

6. *Jooste M.A., Cawood F.T.* Survey slope stability monitoring: lessons from Venetia Diamond Mine [Текст] // International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering – SAIMM, 2007. pp.361-373.

7. *Кольцов П.В.* Совершенствование методов компьютерного моделирования горнотехнических объектов для маркшейдерского обеспечения открытых горных работ [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук / П.В. Кольцов. – Екатеринбург, 2006.

8. *Лобанова Т.В., Новикова Е.В.* Особенности сдвижения горных пород в периоды массовых взрывов при подземной разработке Таштагольского железорудного месторождения // ФТПРПИ. – 2008. - №3. С.25-33.

9. *Инструкция* по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS / Под ред. Л.В. Неверова: утв. приказом рук. Федеральной службы геодезии и картографии России 18.01.2002. №3-пр: ввод в действие с 01.03.2002. – М.: ЦНИИГАиК, 2002. **ГЛАВ**

Коротко об авторах

Косолапов А.И. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Открытых горных работ и зав. отделом «Горное бюро» Сибирского федерального университета, Института горного дела, геологии и геотехнологии, VMakarov@sfu-kras.ru
Токаренко А.В. – горный инженер, начальник Рудоуправления ЗАО «Полюс» Олимпиадинского ГОКА, info@polyusgold.com