

ПРИНЦИПЫ ВЕДЕНИЯ ПОСТОЯННОГО МОНИТОРИНГА НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Е.В. Калабин («ПРИН»)

В 1995 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания университета работал в АОЗТ «Аштек», с 1996 г. — в «Ростест-Москва». С 1997 г. работает в ЗАО «ПРИН», в настоящее время — руководитель проекта.

В.С. Лохов («ПРИН»)

В 1982 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «прикладная геодезия». После окончания института работал в Московском АГП. С 1998 г. работает в ЗАО «ПРИН», в настоящее время — руководитель отдела.

Территории угледобывающих предприятий представляют собой геодинамические объекты. Способы добычи угля зависят от глубины его залегания. Разработка угольных разрезов ведется открытым способом, если глубина залегания угольного пласта не превышает 100 м. Нередки случаи, когда даже при большей глубине угольного пласта выгодно вести разработку месторождения открытым способом. Для извлечения угля с еще больших глубин используются подземные (закрытые) выработки — шахты. Глубина шахт на территории Российской Федерации достигает 1200 м и более.

Подземные и открытые выработки нарушают непрерывность тектонического строения земной поверхности и изменяют естественное строение тектонических плит. Эксплуатация таких выработок со временем приводит к процессам деформаций близлежащих пород и является причиной активизации образования карстовых провалов и оползней в разломных зонах. Оставляя эти процессы без должного контроля, мы можем стать заложниками неотвратимого бедствия. Как

известно, катастрофы не предупреждают о своем приходе.

На поверхности вблизи угольных шахт и обогатительных фабрик образуются огромные отвалы породы, поскольку она является основным отходом угольной промышленности. Переход на отработку пластов и рост глубины разработки ведут к увеличению объемов породы.

В данной статье авторы рассматривают комплекс мероприятий для контроля за деформационными процессами, происходящими на территории угледобывающих предприятий.

▼ Слежение за деформациями закрытых горных выработок

Деформации поверхности кровли над действующей угольной шахтой характеризуются двумя типами геодинамических смещений. Это непосредственные циклические движения поверхности кровли и деформации, вызванные изменениями свойств породы в результате жизнедеятельности шахтного хозяйства.

Традиционно деформации определяются по смещениям маркшейдерских реперов (куста реперов), равномерно распо-

ложенных на объекте. Наблюдения за деформациями проводятся с периодичностью (циклом) в один год. При возрастании скорости смещения от первоначального положения, время между циклами наблюдений сокращают.

Требования к величине допустимых подвижек куста реперов устанавливаются в каждом конкретном случае в зависимости от глубины выработки, мощности пласта над выработкой, его геологической прочности, а также наличия объектов на поверхности в зоне тектонических нарушений.

Современные геодезические приборы и технологии предлагают методы, позволяющие вести слежение за деформациями, практически, в режиме реального времени на любых объектах, т. е. «онлайн маркшейдерии».

▼ Принципы «онлайн маркшейдерии»

Рассмотрим эти принципы на примере использования программного обеспечения компании Trimble.

В основе мониторинга — слежения в режиме реального времени — лежит принцип неп-

рерывного определения параметров контролируемого геодинимического объекта. Он может быть реализован с помощью постоянно действующих референционных станций ГНСС и станций мониторинга, состоящих из приемников ГНСС и других приборов и датчиков измерений.

Пространственная координатно-временная информация со всех приемников ГНСС (референционных станций и станций мониторинга) поступает по каналам связи (Интернет, GSM, Wi-Fi, радиосвязь, оптоволокно и т. д.) в вычислительный центр (ВЦ). Программное обеспечение, установленное в ВЦ (Trimble 4D Control, Trimble Integrity Manager), обрабатывает информацию и предлагает следующие сервисы:

- слежение за стабильностью всего объекта в целом и его составных частей;

- формирование как оперативных, так и наблюдаемых данных за продолжительные интервалы времени, первые из которых обеспечивают выявление кратковременных быстро текущих изменений, а последние — долгосрочный анализ деформаций;

- составление отчетов, выдачу тревожных предупреждений при нестабильности объектов, архивацию всех полученных координатно-временных данных и ведение постоянного анализа конструктивных элементов объекта;

- создание основы для принятия решений по формированию мероприятий, обеспечивающих стабильность поверхности кровли на контролируемой площади.

▼ Основные компоненты слежения за деформациями закрытых горных выработок

Референционная станция ГНСС размещается на стабильных или скальных породах, чтобы бес-

Частота обработки и точность измерения контролируемых параметров при мониторинге

Модуль	Время (частота) обработки	Точность измерений, мм
Сетевые деформации	3 ч	2
Внезапные деформации	1 с	30
RTK на сервере	1 с	20
NVEA-протокол	1 с	20
Постобработка	15 мин	1

печатать минимальные подвижки (пространственные смещения). Она представляет собой постоянно действующий высокоточный двухчастотный приемник ГНСС с жестко фиксированной антенной, объединенный каналами связи с ВЦ. Количество референционных станций может составлять от 2 и более. В процессе мониторинга координаты этих станций с априорными (заранее заданными) значениями используются в качестве исходных.

Станция мониторинга устанавливается в местах наибольших (максимальных) деформаций. Она представляет собой аппаратно-программный комплекс, состоящий из постоянно действующего приемника ГНСС с жестко фиксированной антенной, объединенной каналами связи с ВЦ. Количество станций мониторинга зависит от площади и необходимой детальности определения величин деформаций на исследуемой территории.

В таблице приведены возможные варианты контроля деформаций, начиная от медленных (долгопериодических) смещений тектонических плит и постоянного контроля подвижек до обработки результатов на сервере и оповещении о внезапных (мгновенных) смещениях отдельной точки или объекта в целом в режиме реального времени.

Отклонения пространственных координат станций мониторинга во времени используются

для анализа стабильности деформационного поля в районе выработки. Смещения станций мониторинга по предварительно заданным оператором ВЦ эллипсам допустимых смещений от априорных координат вычисляются автоматически с помощью ПО Trimble 4D Control — 1 раз в секунду, в 15/30/60... секунд или в сутки и т. д.

Причинами деформаций на закрытых выработках могут быть тектонические подвижки ослабленных слоев кровли (рис. 1а) и вертикальные оседания утонченных слоев кровли (рис. 1б) или их совокупность. Для лучшего понимания разделим эти процессы на составляющие. Тектонические подвижки — это в основном горизонтальные смещения станций мониторинга, в то время как оседание кровли фиксируется наибольшим смещением по высоте. Следует отметить, что иногда сложно отделить движение тектонических плит от основания верхних слоев шахты. Для чего внутри подземной выработки также может вестись мониторинг с использованием роботизированных тахеометров (рис. 1б).

Программное обеспечение Trimble 4D Control предназначено для управления системами мониторинга и изучения деформаций исследуемых объектов по результатам обработки и анализа данных, получаемых измерительным оборудованием — референционными станциями ГНСС и станциями мониторинга (приемниками ГНСС, роботизи-

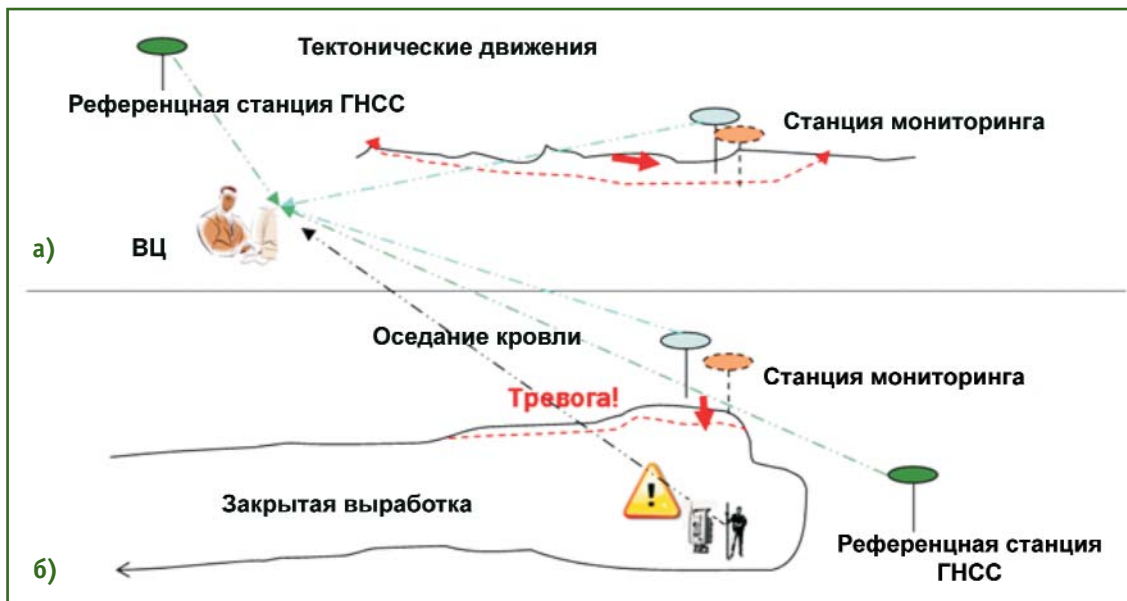


Рис. 1
Принципы мониторинга на закрытых выработках

рованными тахеометрами и различными датчиками). Если организованы каналы связи между точками (объектами) мониторинга, ПО Trimble 4D Control также решает задачи управления потоками данных от станций мониторинга и контроля за их работой и состоянием как в ручном, так и автоматическом режимах.

ПО Trimble 4D Control имеет следующие функциональные возможности:

- отслеживает положение станций мониторинга в режиме реального времени или методами автоматизированной камеральной обработки;

- ведет регистрацию измерений, выполненных приемниками ГНСС, роботизированными тахеометрами, различными датчиками (угловыми, температурным и т. д.);

- передает предупреждения при превышении установленных пользователем порогов смещений положения антенн, углов наклона (при применении инклинометров) или потери связи со станцией мониторинга;

- распространяет собранные данные по протоколу FTP;

- перенаправляет потоки данных, формируемые в режиме реального времени, на IP-соединения, последовательные порты или модемы;

- передает данные о положении станций мониторинга в формате NMEA по IP-соединениям, последовательным портам или модемам.

Предлагаемая аппаратная конфигурация позволяет использовать ПО Trimble 4D Control как в режиме реального

времени (при наличии сетевых соединений со станциями мониторинга), так и по расписанию, через определяемый пользователем интервал времени (при использовании модуля камеральной обработки).

Интерфейс и графики программного обеспечения Trimble 4D Control имеют информативную и наглядную форму, максимально понятно передающую состояние контролируемого объекта. На рис. 2 хорошо вид-

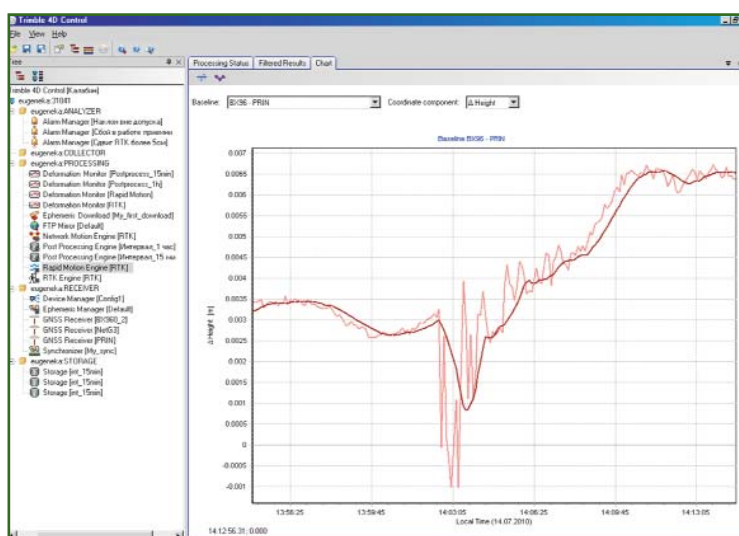


Рис. 2
График кратковременного смещения по высоте контролируемой точки

**Рис. 3**

Пример размещения оборудования для комплексного мониторинга на открытых выработках

**Рис. 4**

Принцип мониторинга на открытых выработках

но кратковременное смещение опорной площадки из-за движения юстировочного винта в процессе приведения прибора в горизонтальное положение.

▼ Слежение за деформациями открытых горных выработок (карьеров)

Комплект измерительного оборудования и оснащения вычислительного центра при мониторинге деформаций открытых выработок идентичен комплекту для подземных выработок. Особенностью является то, что станции мониторинга располагаются на бровке карьера и, при наличии мест установки, на серпантинах, обеспечивая

наибольшую достоверность информации (рис. 3, 4).

Основной задачей постоянного мониторинга открытых горных выработок является оценка состояния бортов и уступов карьера, прогноз стабильности пород в процессе разработки, предсказание развития деформационных процессов, нарушений нормальной эксплуатации карьера, создающих аварийные ситуации, которые приводят к снижению экономических показателей работы.

На основании ведения постоянного мониторинга карьерного поля и борта карьера строится его геодинамическая мо-

дель в виде прогнозной карты развития деформационных процессов. Эта карта может использоваться для инженерных расчетов устойчивости откосов и обоснования их рациональных параметров.

Ведение постоянного мониторинга позволяет повысить эффективность технологии разработки глубинных карьеров за счет сокращения объемов вскрышных работ, увеличения результирующих углов откосов и повышения долговременной устойчивости бортов карьера.

Компания «ПРИН», обладая высококвалифицированным техническим и менеджерским составом, имея большой опыт по разворачиванию сетей мониторинга и обширный парк современного оборудования и программного обеспечения, предлагает свои услуги, практически не ограничивая потенциального пользователя ни в возможностях создания вариантов мониторинга на конкретном объекте, ни в средствах на его организацию.

Дополнительную информацию по данной теме можно найти на сайтах www.prin.ru и www.trimble.com.



**125993, Москва,
Волоколамское ш., 4
Тел: (495) 734-91-91, 785-57-37
Факс: (495) 626-97-79
www.prin.ru**

RESUME

Principles of creating high-technology systems for continuous automated monitoring are considered by the example of the mine-surveying work on observing land surface deformations in the area of subsurface and open-cut coal mines. A brief description is given for the hard- and software by the Trimble company developed for such monitoring system creation.