

УДК 621.3.08

**МНОГОКАНАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА “КАРЬЕР”
ДЛЯ МОНИТОРИНГА БОРТОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ**

В. И. Востриков, Н. С. Полотнянко

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: viv@misd.nsc.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Многоканальная измерительная система “Карьер” оснащена беспроводными датчиками смещения, работающими по радиоканалу и имеющими автономное питание, что существенно повысило мобильность и эксплуатационные характеристики. Канал передачи данных от оператора Центра сбора информации в маркшейдерскую службу позволил обеспечить более оперативный анализ информации и принятие соответствующих решений по обеспечению безопасности ведения горных работ.

Измерительная система, мониторинг, карьер, датчик

Современный этап добычи полезных ископаемых открытым способом характеризуется значительным увеличением глубин их извлечения, которые могут составлять несколько сотен метров. Дальнейшее углубление карьеров приводит к постановке вопроса: либо выполаживать углы откоса бортов, либо их увеличивать. Принятие первого положения приводит к увеличению объема вскрышных работ и, как следствие, к значительному увеличению финансовых и трудовых затрат. Увеличение угла наклона бортов позволяет радикально минимизировать затраты на разработку глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых открытым способом. При таком подходе ведения горных работ возникает необходимость организации инструментальных наблюдений за деформациями бортов, уступов карьеров.

Карьер “Навахаб” (Республика Намибия) по добыче золота ведет разработку крутопадающего (под углом 70°) рудного тела. Достигнутая глубина горных работ 200 м. В 1998 г. на восточном борту карьера произошло обрушение пород высотой 15 м, в 1999 г. высота обрушенных пород составила 30 м, а в 2001 г. — 50 м [1]. Произошедшие аварийные обрушения инициировали организацию системы комплексного мониторинга устойчивости бортов карьера.

Для этого разработан комплекс мониторинга, включающий три основных компонента. Это маркшейдерские наблюдения за сдвижением горных пород посредством системы отражающих призм, установленных на различных отметках по периметру карьера. Второй компонент — развернута сейсмологическая сеть из 8 трехкомпонентных датчиков, 4 из которых размещены вблизи поверхности, а 4 — в глубоких (150–200 м) специально пробуренных скважинах. Установленные датчики обеспечивают регистрацию динамических событий с энергией в первые

джоули. Получаемая информация по цифровым радиоканалам и интернету в режиме реального времени передается в район Кейптауна, в головной офис ISSI, где производится ее обработка и интерпретация.

Третий компонент — с помощью сенсорных датчиков индуктивности осуществляется непосредственный контроль деформационных процессов в бортах карьера. Запись информации производится непрерывно. При достижении деформациями некоторого критического значения включается звуковая сигнализация и в карьер подается ароматический газ. Это является оповещением по задействованию плана ликвидации аварий. Таким образом, за счет применения современных систем инструментального контроля обеспечивается высокая эффективность и безопасность горных работ на карьере.

В работе [2] рассмотрена автоматизированная измерительная система оценки устойчивости бортов карьера, основанная на различных методах регистрации явлений, предшествующих крупномасштабному разрушению: электрофизическом, индукционном, электромагнитном, оптическом, акустическом, пьезоэлектрическом. Передача информации осуществляется по сотовым каналам связи.

В измерительном комплексе “Сдвиг-4МР” [3] применяются датчики, непосредственно измеряющие смещения геоблоков. Анализ применения этого комплекса показал его существенные недостатки с точки зрения эксплуатации. Отсутствие дистанционной передачи данных не позволяет оперативно обрабатывать информацию и обеспечить принятие экстренных мер при чрезвычайных ситуациях. Значительное потребление энергии от аккумуляторов уменьшает время работы в автономном режиме. Кабельное соединение датчиков со станцией, крепление датчиков цементными составами приводят к снижению мобильности и создают определенные трудности при перестановке комплекса на другие места регистрации.

Более совершенная система обладает дистанционной передачей данных и существенно сниженным энергопотреблением [4, 5]. Применение разжимных датчиков значительно упрощает развертывание системы для производства мониторинга.

При разработке системы “Карьер” учтен опыт эксплуатации вышеописанных систем. Разработан датчик с передачей измерительной информации по радиоканалу, значительно уменьшена масса датчика и расширен диапазон регистрации, уменьшено энергопотребление, создан канал передачи информации в Центре сбора информации на компьютеры в маркшейдерском отделе. Эти усовершенствования позволили качественно улучшить эксплуатационные характеристики и мобильность системы.

Необходимо отметить, что данная разработка представляет собой полностью укомплектованную систему “датчик – блок сбора информации – блок передачи информации – блок приема информации – обработка информации – визуализация и хранение”. Система полностью автоматизирована и не требует вмешательства человека с целью съема информации с локальных узлов памяти, как это выполнено в [3].

МНОГОКАНАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА “КАРЬЕР”

Многоканальная измерительная система “Карьер” разработана для решения задач мониторинга устойчивости бортовых откосов глубоких карьеров. Функциональная схема системы приведена на рис. 1.

На схеме представлено два измерительных комплекса I, состоящих из регистратора и трех датчиков. Таких измерительных комплексов в системе может быть до восьми и в каждом из них до 8 датчиков. Датчики с регистратором работают по радиоканалу на расстоянии до 20 м. В процессе работы они находятся в режиме ожидания запроса с регистратора, при получении

которого начинают передавать на него измерительную информацию. Период опроса датчиков устанавливается путем программирования регистратора и может составлять от секунды до нескольких десятков минут.

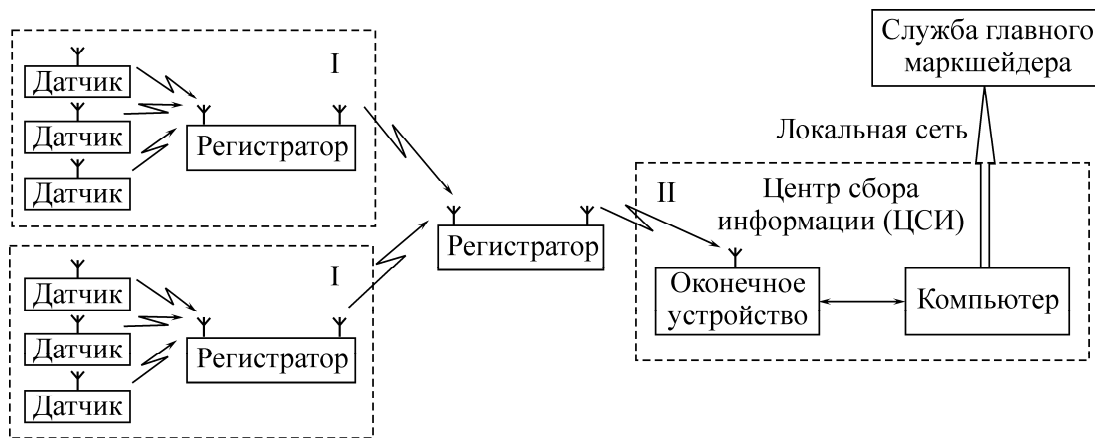


Рис. 1. Функциональная схема измерительной системы “Карьер”

После опроса всех датчиков и приема с них данных регистратор через другую антенну передает информацию на ретранслятор, который, в свою очередь, передает ее на оконечное устройство в центре сбора информации (ЦСИ). Ретранслятор необходим для организации радиовидимости между регистраторами и ЦСИ и устанавливается на краю карьера. В ЦСИ полученная информация обрабатывается и результаты в виде графиков “время (дата) – ширина трещины” выводятся на монитор оператора.

С целью оперативной оценки геомеханической обстановки бортов карьера в реальном режиме времени организован канал связи “компьютер оператора – компьютер главного маркшейдера рудника” с использованием компьютерной локальной сети комбината. Для этого разработано соответствующее программное обеспечение, которое установлено на эти компьютеры. Схема развернутой системы “Карьер”, используемая на карьере “Удачный” (Республика Саха), приведена на рис. 2.

На рис. 3 представлена базовая единица измерительного комплекса “Карьер”, в которую входит три датчика (на рис. 3 показан один), регистратор, ретранслятор, оконечное устройство.

Описание датчика. В измерительных системах важнейшим составляющим элементом является измерительный датчик, от которого во многом зависят метрологические и эксплуатационные характеристики. Специфика работы датчика в массивах горных пород в экстремальных климатических условиях Севера определила требования к его конструкции:

- простота конструкции с минимумом механических деталей, исключение вращающихся и перемещающихся друг относительно друга узлов;
- установка в трещинах без применения цементирующих и клеевых составов;
- устойчивость установки;
- широкий диапазон регистрации ширины трещины;
- работоспособность в широком диапазоне температур (–40 ÷ 40 °С).

В процессе работы над системой “Сдвиг” разработано несколько конструкций датчиков, которые можно назвать распорно-щелевыми. Датчики устанавливаются непосредственно в трещину без применения цементирующих и клеевых веществ, что повышает эксплуатационные свойства датчиков. Также разработан датчик для измерения смещений геоблоков на больших базах (до 1 м) [4]. Опыт эксплуатации этих датчиков определил для системы “Карьер” усовершенствованную конструкцию датчика, внешний вид которого показан на рис. 4.

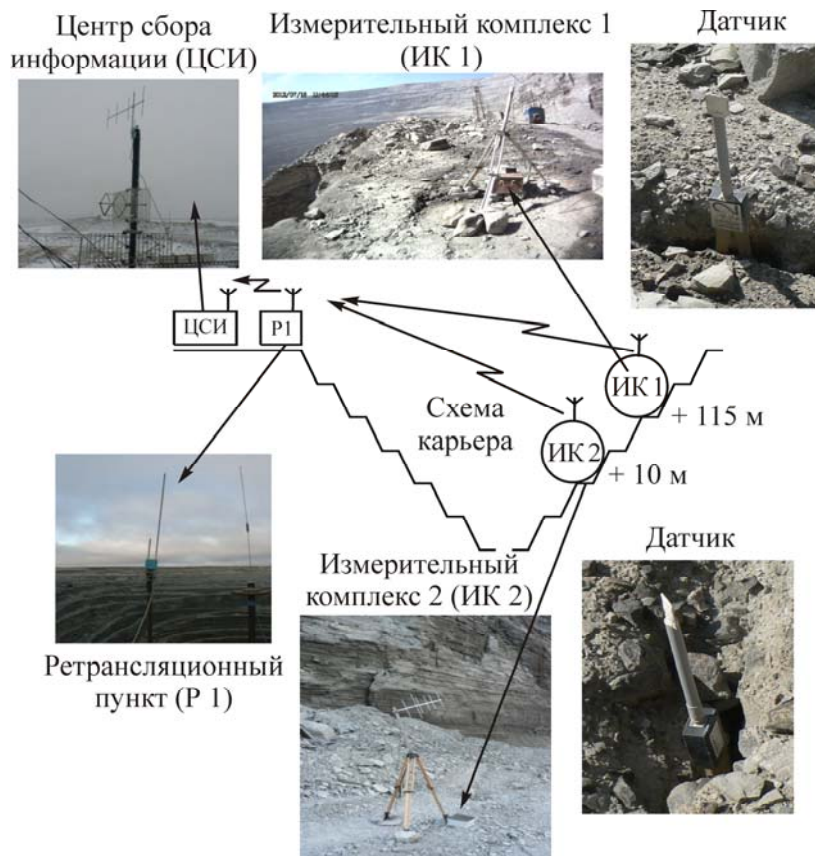


Рис. 2. Схема развернутой системы “Карьер” на карьере “Удачный”

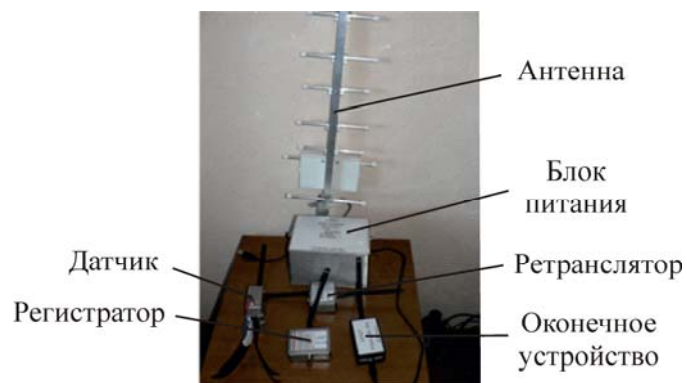


Рис. 3. Базовый комплект измерительного комплекса “Карьер”

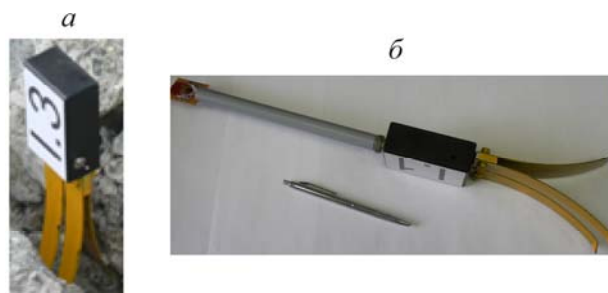


Рис. 4. Усовершенствованная конструкция датчика: *а* — вид установленного в трещину датчика с внутренней антенной; *б* — датчик с наружной антенной

Разработанный датчик представляет собой конструкцию с трехпластинчатыми упругонезависимыми установочными элементами. Такая конструкция в совокупности с малой массой обеспечивает простоту установки в трещину без вспомогательных устройств и устойчивое положение датчика в процессе эксплуатации. Датчик с выносной антенной (рис. 4б) обеспечивает большую дальность связи между ним и регистратором (до 20 м) по сравнению с датчиком с внутренней антенной (рис. 4а).

Для калибровки датчиков в координатах “деформация – выходной сигнал” разработано специальное устройство, которое представлено на рис. 5а. Типичный калибровочный график показан на рис. 5б. Практически получается прямая зависимость выходного сигнала датчика от деформации, поэтому для калибровки достаточно двух точек.

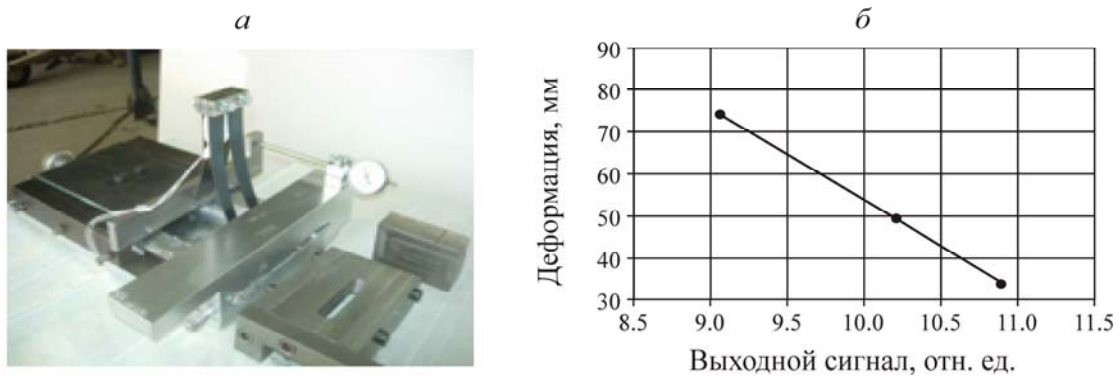


Рис. 5. Стенд для калибровки датчиков (а) и типичный калибровочный график (б)

Для исключения влияния температуры на показания датчика снимается зависимость “температура – деформация”. Типичный график без термокомпенсации, приведенный на рис. 6, показывает, что при изменении температуры от -25 до 25 °С деформация датчика составляет около 1 мм. Температурный коэффициент самого датчика равен 0.02 мм на 1 °С. Для исключения зависимости показаний датчика от температуры на сам датчик дополнительно наклеивается датчик температуры. Микропрограмма, “защита” в микропроцессор датчика, обрабатывает сигналы с термодатчика и с чувствительных к деформации элементов, тензорезисторного моста, самого датчика. Таким образом, исключается зависимость показаний датчика от температуры.

Такой калибровке подвергается каждый датчик измерительного комплекса. Полученные результаты заносятся в банк данных системы, где проводится автоматическое вычисление размера трещины.

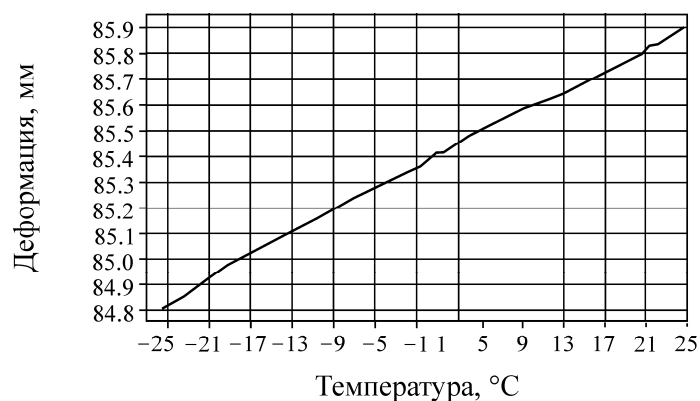


Рис. 6. Типичный температурный график датчика

Технические характеристики измерительной системы “Карьер”:

Количество датчиков в системе	до 64
Диапазон регистрации ширины трещины	20 ÷ 90 мм
Точность	0.05 мм
Связь датчиков с регистратором	по радиоканалу
Дальность связи	до 20 м
Связь регистратора с ретранслятором	по радиоканалу
Дальность связи	до 3 км
Связь ретранслятора с Центром сбора информации	по радиоканалу
Дальность связи	до 3 км
Питание датчиков	автономное
Питание регистраторов:	
от сети	220 В
при перерывах в питании	от аккумулятора
Температурный диапазон работы	–40 ÷ 40 °С

ВЫВОДЫ

Для мониторинга устойчивости бортов глубоких карьеров разработана многоканальная измерительная система “Карьер”, обеспечивающая значительно более высокие эксплуатационные показатели, чем ранее разработанные системы. Датчики, работающие по радиоканалу, повышают мобильность системы, а организация построения системы по блокам, объединяющим несколько датчиков, позволяет создать пространственно-распределенную измерительную систему.

Передача информации по радиоканалу на пульт оператора в Центре сбора информации и далее в службу главного маркшейдера обеспечивает оперативность обработки информации и принятия соответствующих решений по безопасности ведения горных работ, а также значительно повышает эксплуатационные характеристики системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барях А. А.** Южноафриканское техническое сафари // Горное эхо. — 2006. — № 6.
2. **Демьянов В. В.** Автоматизированная телекоммуникационная система контроля устойчивости бортов карьера. — Кемерово: Изд-во КГУ, 2009.
3. **Димаки А. В., Псахье С. Г.** Распределенная измерительная система для мониторинга смещений по границам раздела блочных сред на базе комплекса “Сдвиг 4МР” // ФТПРПИ. — 2009. — № 2.
4. **Востриков В. И., Ружич В. В., Федеряев О. В.** Система мониторинга обвалоопасных участков бортов глубоких карьеров // ФТПРПИ. — 2009. — № 6.
5. **Vostrikov V. I., Oparin V. N.** Multichannel instrumentation system for strain and displacement measurements, Proceeding of the 2009 International Symposium on Mechatronic and Biomedical Engineering and Applications, Taiwan, November 5, 2009.

Поступила в редакцию 11/IX 2014