

## МАРКШЕЙДЕРСКИЙ ГЕОМОНИТОРИНГ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

*С.В. Турсбеков, Ф.К. Низаметдинов*

Рассматривается маркшейдерский геомониторинг как количественная оценка деформаций откоса. Представлены данные по выявлению характера начавшейся деформации и прогноз устранения причин, вызывающих развитие опасных деформаций.

*Ключевые слова:* маркшейдерский геомониторинг; прибортовые массивы горных пород.

В настоящее время карьеры отдельных месторождений полезных ископаемых Казахстана достигли значительной глубины разработки: свыше 300 м – Качарский и Акчий-Спасский, свыше 400 м – Коунрадский и Николаевский, свыше 500 м – Соколовский и Сарбайский (рисунок 1). Разработкой этих карьеров занимаются такие крупные горнодобывающие предприятия, как АО “ССГПО” и ТОО “Корпорация Казахмыс”. В этих условиях особо остро встает проблема обеспечения и контроля устойчивости откосов уступов и бортов. Ее решение обеспечивается комплексными исследованиями состояния прибортовых массивов горных пород, включающих изучение: горно-геологических, гидрогеологи-

ческих и горно-технических условий разработки; физико-механических свойств горных пород и руд; структурных особенностей массива (тектонических нарушений, трещиноватости и слоистости пород); условий устойчивости откосов уступов и бортов с использованием существующих методов расчета; технологических схем заоткоски откосов уступов на проектных контурах; способов инструментального контроля состояния прибортовых массивов на проектных контурах.

При этом особое внимание должно уделяться созданию геомеханического мониторинга за состоянием карьерных откосов.

Процесс организации маркшейдерского геомониторинга прибортовых массивов глубоких ка-



Рисунок 1 – Общий вид Качарского карьера

рьеров включает: выбор потенциально неустойчивых и неустойчивых участков на основе анализа инженерно-геологических и горно-технических условий разработки для закладки реперов профильных линий; разработка проекта наблюдательных станций за деформациями откосов бортов карьеров, учитывающего значительную глубину карьера; перенесение проекта наблюдательных станций в натуру и закладка реперов; привязка опорных реперов (определение координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) к ближайшим пунктам маркшейдерской опорной геодезической сети; определение положения контрольных пунктов профильных линий; определение положения наблюдательных опорных пунктов создаваемой системы; систематический контроль за неизменностью положения наблюдательных опорных пунктов с помощью приемников – глобальных спутниковых систем; инструментальные измерения по реперам профильных линий наблюдательной станции; обработка результатов инструментальных наблюдений и их анализ.

При этом на каждой наблюдательной станции выполняются следующие виды работ: определение величин сдвижений реперов наблюдательной станции в горизонтальной и вертикальной плоскостях по результатам инструментальных измерений; замеры ширины и протяженности трещин на земной поверхности и бермах уступов; съемки, в результате которых производится пополнение планов и разрезов горных работ на каждую дату наблюдений с указанием времени производства отдельных операций горных работ (массовых взрывов, вскрышных работ и тому подобное).

Сроки проведения повторных наблюдений устанавливаются в зависимости от развития процесса сдвижения.

После закладки наблюдательной станции измерения проводятся ежемесячно. После 3–4 серий наблюдений и установления скорости смещения прибортового массива периодичность уточняется. Если скорость смещения реперов не превышает 1 мм/сут. и затухает во времени, интервалы времени между сериями измерений могут быть увеличены до 3–4 и более месяцев, но не реже 1–2 раз в год.

Если скорость смещения реперов постоянна и составляет 0,5–1,0 мм/сут., наблюдения проводятся, соответственно, один раз в два месяца или ежемесячно. При активизации процесса сдвижения интервалы между сериями наблюдений сокращаются до нескольких недель и даже дней.

При наблюдениях за активными оползневыми явлениями со скоростными смещениями массива 10 мм/сут. и более, серии инструментальных измерений проводятся ежедневно. Если скорость смещения реперов увеличивается во времени, то для установления критических скоростей смещений, предшествующих срыву оползней, интервалы времени между сериями наблюдений сокращаются до нескольких часов, в отдельных случаях устанавливаются автоматические сигнализаторы скорости деформаций.

Проведение маркшейдерского геомониторинга позволяет дать количественную оценку деформаций откоса и в комплексе с инженерно-геологическими и гидрогеологическими ис-

следованиями помогает выявить характер начавшейся деформации, что дает возможность сделать прогнозы относительно ее развития во времени и пространстве, наметить мероприятия по устранению причин, вызывающих развитие опасных деформаций [1].

Следует выделить следующие особенности производства инструментальных наблюдений на глубоких карьерах:

1. Глубина закладки опорных реперов должна быть ниже глубины промерзания грунта.

2. Выбор местоположения опорных пунктов при их перемещении с верхней бровки вглубь карьера должно соответствовать следующим правилам: пункты следует располагать в относительно устойчивых местах вне зоны ведения горных работ; с наблюдаемых опорных пунктов выставляются контрольные пункты (точки) с правильной геометрической сетью и требуемой точностью, позволяющие обеспечить видимость на максимальное количество рабочих реперов.

3. Инструментальные измерения выполняются с использованием высокоточных электронных тахеометров, а также с глобальными спутниковыми системами.

4. Контрольные пункты (точки) и наблюдательные опорные пункты создаются в виде столбика для установки на нем прибора, представленного в виде металлической трубы диаметром от 10 до 20 см с приваренной сверху горизонтальной площадкой.

Конструкция опорных и рабочих реперов, способ их закладки должны обеспечивать: удобство и нормальные условия для производства работ при инструментальных измерениях на откосах бортов карьеров и отвалов в горизонтальной и вертикальной плоскостях; прочную связь с грунтом, позволяющую при возникновении сдвижений и деформаций массива горных пород перемещаться реперам профильной линии совместно с этим процессом; неподвижность независимо от влияния сезонного промерзания и оттаивания грунта; надежную сохранность на весь период службы наблюдательной станции (гарантия от внешних повреждений); простоту конструкции и дешевизну изготовления.

В качестве рабочего репера следует использовать металлический арматурный стержень, диаметром 20–30 мм и длиной 1,2–1,5 м. Арматурный стержень забивается на глубину не менее 0,5–0,8 м в скальных породах, на верхней части стержня проектируется закрепить специальный колпачок для быстрой установки на нем призмического отражателя. В рыхлых (глинистых) по-

родах глубина заложения рабочих реперов проектируется не менее 1,2–1,5 м.

Предлагаемый метод фиксирования отражателя на рабочем репере в каждой серии инструментальных наблюдений позволит устранить погрешности центрирования и горизонтирования стойки отражателя жесткого отвеса. На всех рабочих реперах профильных линий карьера, расположенных на каждой площадке карьера, расположенных на каждой площадке (берме) уступа, проектируется установить стационарный призмический отражатель. Предлагаемая конструкция рабочего репера с постоянно установленным отражателем, возвышающимся над уровнем площадки на высоту 0,3–0,5 м, позволяет использовать его при инструментальных наблюдениях, а также при полуавтоматической и автоматической системах наблюдений. Это значительно уменьшит затраты времени в каждой серии наблюдений, связанные с перемещением исполнителя к следующему реперу на нижележащую берму, повысит точность измерений и безопасность наблюдателей, так как доступ к некоторым площадкам уступов затруднителен.

Наблюдательный инструментальный столбик представляет собой металлический или бетонный столб длиной от 2,2 до 2,5 м, забетонированный на глубину до 1,0 м. На столбе сверху устраивается горизонтальная площадка со стеновым винтом для закрепления на нем трегерной подставки прибора и призмического отражателя. Нижняя часть столбика (трубы) в скважине бетонируется, далее скважина заполняется шлаком и сверху бетонируется.

В настоящее время маркшейдерские наблюдения за деформациями бортов, откосов уступов на карьерах значительной глубины выполняются с использованием электронных приборов и программных продуктов, что позволяет внедрять полуавтоматическую и автоматическую систему наблюдений (рисунки 2, 3).

Полуавтоматическая система наблюдений основана на производстве систематических инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений за смещениями и деформациями рабочих реперов профильных линий с использованием электронного тахеометра и GPS-приемников спутниковой системы позиционирования и математической обработке результатов наблюдений.

Автоматическая система наблюдений – автоматизированный мониторинг, при котором приборы работают самостоятельно в постоянном режиме, производя измерения и интерпретируя результаты без участия человека. Маркшейдер-



Рисунок 2 – Производство измерений с помощью электронного тахеометра:  
а – отражатель на репере; б – тахеометр на опорной точке

ский автоматизированный мониторинг состояния прибортовых массивов заключается в постоянном автоматическом режиме наблюдений за пространственно-временными процессами, возникающими в массиве горных пород, математической обработке результатов наблюдений с целью оценки их точности, содержательном анализе и прогнозе состояния устойчивости карьерных откосов.

В создаваемой системе геомониторинга систематический контроль за неизменностью положения наблюдательных опорных и контрольных пунктов будет осуществляться с помощью GPS-приемников в комплекте с электронным тахеометром фирмы Leica Geosystems серии TCR 1201.

Принцип работы GPS-приемника основан на отслеживании спутников, которые восходят над горизонтом, а также сборе информации об их местоположении и анализе PRN-кодов каждого спутника. Выбор приемника зависит от конкретных требований проекта, потому внимание обращается лишь на общие характеристики [2].

Для коротких баз длиной до 30 км можно использовать одностотные приемники, так как влияние ионосферной рефракции в значительной мере исключается использованием разностей фазовых измерений между пунктами базы. Важной характеристикой приемника является скорость сбора данных. Другой важной характеристикой при выборе приемника считают его



Рисунок 3 – Производство измерений с помощью GPS: а – на опорном пункте; б – на рабочем репере

способность выбора ширины полосы. Ширина полосы должна быть достаточно большой, чтобы предотвратить потерю сигнала, но достаточно узкой, чтобы обеспечить высокое значение отношения “сигнал – шум”.

Система мониторинга геомеханического состояния прибортовых и отвальных массивов Сарбайского месторождения основана на инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдениях за смещениями и деформациями реперов наблюдательных станций с использованием электронного тахеометра, которые необходимо проводить не реже двух раз в год в соответствии с требованиями Инструкции.

Положение опорных реперов в созданной системе наблюдений определяется линейно-угловыми засечками от пунктов опорной маркшейдерской геодезической сети. Все измерения электронным тахеометром Leica TCR 1201 для повышения точности и исключения грубых ошибок проектируется выполнять шестью приемами. Прием измерения включает одно наведение на отражатель, при котором берется несколько отсчетов по цифровому табло (2–3). За окончательный результат принимается средневзвешенное значение измерений, при этом разница между отдельными отсчетами не должна превышать  $\pm 2$  мм.

Положение контрольных пунктов и связующих реперов профильных линий проектируется определять линейно-угловыми засечками от опорных реперов созданной системы.

Начальные наблюдения на станции заключаются в измерениях расстояний между реперами профильных линий и величины отклонения реперов от створа линии, а также в определении плано-высотного положения рабочих реперов. Начальные наблюдения состоят из двух независимых серий измерений с интервалом 3–5 дней.

В каждой серии наблюдений все измерения должны выполняться дважды (в прямом и обратном направлениях).

С помощью электронного тахеометра Leica TCR 1201 могут быть определены все необходимые данные: расстояния между реперами, превышения и координаты реперов наблюдательных станций.

Все измерения электронным тахеометром для определения положения рабочих реперов проектируется выполнять тремя приемами. Прием измерения включает одно наведение на отражатель, при котором берется несколько отсчетов по цифровому табло (2–3). За окончательный результат принимается среднее значение измере-

ний, при этом разница между отдельными отсчетами не должна превышать  $\pm 2$  мм.

Для введения поправок на каждой стоянке измеряются атмосферное давление и температура с точностью до 1 мм рт. ст. и до  $\pm 1$  °С соответственно.

Применение электронного тахеометра Leica TCR 1201 значительно сокращает время на производство полевых работ и повышает их точность.

Так как при инструментальных наблюдениях конечные результаты несут в себе ряд случайных и систематических ошибок, то для их исключения или уменьшения проектом предлагается методика наблюдений, состоящая из ряда последовательно выполняемых работ и соблюдения определенных условий: закрепление отражателей на жестких отвесах, которые устанавливаются и центрируются над реперами по створу профильной линии; положение опорных реперов в созданной системе наблюдений необходимо определять линейно-угловыми засечками от пунктов опорной маркшейдерской геодезической сети; максимальное удаление рабочих реперов от наблюдательных опорных пунктов должно быть не более 1075 м; обязательное измерение атмосферного давления с точностью до 1 мм рт. ст. и температуры воздуха с точностью до 1 °С; систематический контроль положения опорных и связующих реперов, наблюдательных опорных и контрольных пунктов в каждой серии наблюдений; при значительной длине профильных линий, а также в случае потери видимости реперов нижележащих уступов, проектируется разделить линию на отдельные секции связующими реперами; при разделении профильной линии связующими реперами на секции, съемка крайних рабочих реперов каждой секции должна выполняться с обязательным контролем от последующего связующего репера.

Формирование базы данных измерений в электронном виде существенно сокращает камеральную обработку результатов измерений.

Систематический контроль в геомониторинге за неизменностью положения наблюдательных опорных и контрольных пунктов будет осуществляться с помощью GPS-приемников в комплекте с электронным тахеометром. Необходимость контрольного переопределения положения пунктов вызвана тем, что наблюдательные опорные и контрольные пункты находятся в зоне возможных деформаций и сдвижения.

Процесс производства маркшейдерских наблюдений за состоянием прибортовых массивов требует значительных затрат времени на измере-

Таблица 1 – Характеристика карьеров, ведущих геомеханический мониторинг за состоянием бортов

Карьер	Глубина, м	Кол-во станций / Профильных линий	Год начала наблюдений
Николаевский, АО “Корпорация Казахмыс”	420	4/8	1998
Коунрадский, АО “Корпорация Казахмыс”	450	5/6	1980
Сарбайский, АО “ССГПО”	510	6/6	2008
Соколовский, АО “ССГПО”	520	3/6	2008
Качарский, АО “ССГПО”	300	4/5	2008
Шубаркольский, АО “Шубарколь комир”	250	3/6	2000

ния и длительного времени на их камеральную обработку из-за большого объема данных. В связи с этим встает вопрос об автоматизации маркшейдерских наблюдений на карьерах, в которых участие человека сведено к минимуму.

В идеальных условиях автоматическая система наблюдения устанавливается на верхней бровке устойчивого, не деформируемого борта карьера, чтобы гарантировать стабильность наблюдательного опорного пункта. Для электронного тахеометра необходим также, по крайней мере, один устойчивый ориентирный пункт. Но на практике не всегда имеется такая возможность. Опорный пункт может быть расположен на неустойчивом борту карьера в зоне возможных деформаций, что вызывает необходимость контролировать устойчивость этого наблюдательного опорного пункта.

Существует два метода контроля опорного пункта: путем вычисления обратной засечки по ориентирным пунктам системы и при помощи использования приемников спутниковой системы позиционирования [2].

Первый метод контроля применяется при небольшой глубине карьера и установке опорного пункта на верхней бровке борта карьера.

Предлагаемый метод зависит от хорошей геометрии ориентирных пунктов, количество которых должно быть не меньше трех, и от места их расположения должно быть вне зоны деформации. Определение местоположения опорного пункта производится путем решения обратной засечки по ориентирным пунктам системы перед каждой серией наблюдений. Это приводит к увеличению времени производства наблюдений. В этом методе существует ряд преимуществ и недостатков.

Преимущество *первого метода* контроля: увеличивается точность координатных оценок; результаты измерения объединяются со статис-

тическими алгоритмами обнаружения деформации.

Недостатки – высокая зависимость от геометрии сети (местоположение призм с привязкой их к электронному тахеометру); высокий уровень оценки интерпретации результатов; высокая чувствительность к атмосферным эффектам, которые стимулируют фактор масштаба в сети, затрудняющий контроль стабильности опорных точек; использование в измерениях на отражательных призмах дорогих 360°-ных призм.

*Второй метод* применяется на карьерах глубиной более 300 м с расстоянием между бортами более 800 м, что затрудняет установку наблюдательного опорного пункта автоматизированной системы на верхней бровке карьера вне зоны деформаций и возможного обрушения [1]. Основные их характеристики приведены в таблице 1.

В этих условиях предлагается производить контроль за опорным пунктом при помощи приемников спутниковой системы позиционирования. Приемники спутниковой системы позиционирования дают уникальную возможность определять параметры сдвига объектов, сооружений и прибортового массива горных пород, и вести регулярные наблюдения за изменением этих параметров во времени.

В настоящее время по разработанной методике ведутся планомерные инструментальные наблюдения.

#### Литература

1. Попов И.И. Природные и техногенные основы обеспечения устойчивости откосов, уступов и бортов карьеров / И.И. Попов, Ф.К. Низаметдинов, Р.П. Окатов и др. Алматы: Ғылым, 1998. 256 с.
2. Турсбеков С.В. Геомеханическое обеспечение устойчивости карьерных откосов / С.В. Турсбеков. Алматы: КазНТУ, 2011.