



**Международная конференция
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМИРУЮЩИХСЯ УЧАСТКОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Кольцов П.В.

ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург,
Kpavel@umbr.ru

Иванов Ю.С.

ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург,
Kpavel@umbr.ru

Пыхтеева Н.Ф.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия
referetsf@yandex.ru

**10-11 июня 2015 года,
Екатеринбург, Россия**

Выемка законтурных запасов руды представляет значительный интерес, поскольку добыча руды производится без каких-либо существенных капиталовложений. В виду особенностей строения меднорудных месторождений (неправильные формы рудных тел и наличие сопровождающих мелких залежей) значительная часть рудных запасов остается в бортах и дне карьера (от 5 до 20 млн.т). Естественно, при доработке карьеров возникает вполне резонный "соблазн" по их выемке, что достаточно успешно осуществляется по локальным [1] проектам на ряде карьеров (Блявинский, Сибайский, Учалинский и др.) и позволяет дополнительно добыть 2–7 млн.т. руды карьерами, эксплуатационный ресурс которых к этому времени обычно почти полностью исчерпан.

Наиболее важным фактором при разработке вариантов отработки прибортовых запасов полезных ископаемых является устойчивость подрабатываемых бортов карьеров, поскольку выемка дополнительных объемов ведет, как правило, к нарушению устойчивости вышележащего массива. Однако, выемка законтурных запасов полезных ископаемых имеет некоторые особенности, позволяющие с определенным риском обеспечить полноту отработки недр - это точечное воздействие (боковой распор), срок отработки, отсутствие в пределах призмы обрушения охраняемых объектов, длительные инструментальные наблюдения.

Наличие вышеперечисленных факторов позволяет обосновать возможность выемки прибортовых запасов на локальных участках в короткие сроки (до 3-х лет) при минимально допустимых коэффициентах запаса устойчивости (≥ 1.1).

Для расчета параметров устойчивости бортов разрезов во ВНИМИ разработаны и введены в «Правила» [2] схемы и графики поправок к углу наклона прямолинейного в плане откоса от длины зажатого участка.

Срок отработки имеет важное значение для уменьшения нормативного коэффициента запаса, вводимого в расчеты при отсутствии в призме возможного обрушения охраняемых сооружений, поскольку позволяет существенно увеличить угол погашения рабочего борта и закончить горные работы на локальном участке до проявления существенных деформаций.

Комплексный учет всех факторов, влияющих на устойчивость бортов карьеров, позволяет оценить возможность выемки законтурных запасов и разработать открытую или подземную технологию их отработки с обеспечением устойчивости бортов на определенный срок.

Обязательным фактором, сопровождающим отработку месторождения на протяжении всего срока эксплуатации карьеров, являются инструментальные маркшейдерские наблюдения. Все технические решения, связанные с изменением контуров карьера должны основываться как на расчетных данных по оценке устойчивости, так и на данных практических наблюдений по профильным линиям. Особенно это утверждение актуально при отработке

прибортовых запасов, так как массив имеет состояние близкое к предельному, что необходимо учитывать при решении задачи постановки маркшейдерских инструментальных наблюдений.

Исследованиями деформационных процессов в прибортовых массивах установлено, что разрушению бортов предшествуют развивающиеся в течении длительного времени деформации, появление которых не является признаком обязательного разрушения борта. Следовательно, на деформирующихся бортах можно вести горные работы до появления видимых трещин и заколов, контролируя маркшейдерскими наблюдениями скорости деформирования откосов. Для надежной оценки степени опасности развивающихся деформаций и оценки устойчивости бортов принимают критические скорости прибортового массива, которые устанавливаются в процессе маркшейдерских инструментальных наблюдений [3].

Однако задача постановки инструментальных наблюдений на деформирующихся участках осложняется следующими факторами:

- отсутствие возможности заложения профильной линии по нормали к борту из-за недоступности вышележащих берм;
- опасность нахождения исполнителя на деформирующемся участке;
- значительной системной ошибки наблюдений, при использовании безотражательного режима тахеометров;
- реперы, расположенные параллельно участку деформации, не в полной мере отражают схему деформирования массива.

Для получения достоверной схемы деформирования массива предлагается методика безотражательных наблюдений за деформирующимися недоступными участками бортов карьеров, основанная на применении технологий лазерного сканирования.

Суть методики заключается в создании трехмерной модели исследуемого участка, позволяющей с достаточной точностью фиксировать изменение состояния массива по условным профильным линиям. Профильные линии являются либо условными, поскольку их положение и количество ограничивается только границами созданной модели, либо привязаны к деформационным реперам, расположенным по периметру карьера.

Суть наблюдений сводится к координатной привязке и сканировании участка исследований (зоны деформаций) с достаточной для обеспечения адекватности моделирования плотностью наблюдений. Периодичность сканирования определяется исходя из стадии деформационных процессов. По результатам каждой серии сканирования рассчитывается трехмерная модель исследуемого участка. Поскольку координаты участка известны, то при совмещении моделей нескольких серий наблюдений можно проследить динамику развития оползневых процессов. На модели выбирается несколько перпендикулярных борту профиль-

ных линий, по которым оцениваются скорости и величины смещений. Кроме того по результатам моделирования рассчитывается объем (m^3) деформаций между исходной серией и последующими наблюдениями.

Методика безотражательных наблюдений за деформируемыми участками бортов карьеров опробована в промышленных условиях на Сибайском, Юбилейном, Султановском и Учалинском карьерах (Башкирия). Для проведения сканирования использовался роботизированный тахеометр Trimble S6, а с конца 2011 года в производство работ внедрен лазерный сканер Riegl VZ – 1000 с производительностью до 122 000 точек в секунду и дальностью сканирования до 1400 метров, что значительно расширило область применения и надежность результатов моделирования.

Применение методики на Сибайском карьере позволило уточнить схему деформирования массива.

Анализ результатов лазерного сканирования показал, что деформации уступа проходили по плавной поверхности скольжения с образованием просадок в верхней и выпиранием горной массы в нижней части уступа. Результаты лазерного сканирования показали, что основные деформации в виде обрушений и частичного разрушения берм безопасности произошли после подработки систем скрытых трещин. Дальнейшего развития деформационных процессов не происходило, что подтверждается также наблюдениями по реперам, заложенным вдоль деформирующегося участка.

Методика безотражательных наблюдений внедрена в комплексную систему мониторинга на Учалинском, Султановском и Юбилейном карьерах и дополняет классическую систему наблюдений по реперам. Сходимость результатов безотражательных наблюдений с результатами классического мониторинга позволяет сделать выводы о возможности их внедрения в производственный процесс как самостоятельных наблюдений.

Проведенные исследования показали, что методы лазерного сканирования, при определенных условиях, позволяют получить достоверную информацию о состоянии деформирующегося участка борта. Все наблюдения с помощью лазерного сканирования по возможности дублировались традиционными наблюдениями по реперам, что позволило оценить адекватность результатов.

Во всех случаях, на основе сходимости результатов подтверждаются закономерности развития деформационных процессов, фиксируемые классическими наблюдениями по реперам и данными лазерного сканирования. Однако за счет возможности проведения объемного анализа представительность данных сканирования значительно выше, поскольку отражает все изменения конфигурации исследуемого участка.

Таким образом, применение методов лазерного сканирования является одним из наиболее эффективных и безопасных способов проведения инструментальных наблюдений на деформирующихся участках бортов карьеров и отвалов. Внедрение в системы мониторинга трехмерных лазерных сканеров существенно повышает скорость съемки и точность моделирования.

Полноценное освоение недр невозможно без теоретической проработки возможности выемки и эффективных систем мониторинга, позволяющих установить и предупредить опасные деформации на ранней стадии.

Библиографический список

1. Соловьев А.А., Зобнин В.И. Схемы выемки законтурных запасов руды на карьерах // Известия вузов. Горный журнал. – 2007. - № 5.
2. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах / Гос. НИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела. – Утв. Госгортехнадзором РФ 16.03.1998. – СПб., 1998. – 208 с.
3. Туринцев Ю.И. Разработка, исследование и внедрение инженерных методов управления и способов контроля устойчивости бортов меднорудных карьеров / Дисс. ... доктора техн. наук. - Л.: ЛГИ. 1975.