УДК 622.271.333:624.131.527

А.Р.ЮМАГУЖИН
Уральская государственная горно-геологическая академия, Екатеринбург

УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРОВ НА ПЕРШИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Выполнены исследования устойчивости бортов карьеров природного камня на примере Першинского месторождения на Среднем Урале. Были установлены основные нарушения и трещины в прибортовом массиве. Оказалось, что наиболее неустойчив восточный борт. Расчетом установлены конструктивные параметры этого борта.

The authors analyze stability of benches and pit wall at the Pershinskoe limstone quarry. The quarriy is located in Middle Ural, near Resh. The east pit wall is unstability. Author found very uncomfortable fault bundle for stability at this east pit wall. Geometric size of east pit wall determineted by calculation of stability.

Основным условием безопасного ведения горных работ является устойчивость бортов и уступов. Ограничивающим критерием по устойчивости бортов при открытой разработке месторождения является геологическое строение и гидрогеология месторождения.

Разработка месторождений по добыче блоков природного камня в отличие от разработки угольных, рудных месторождений и других полезных ископаемых характеризуется рядом особенностей. Она осуществляется, как правило, вертикальными уступами. Высота уступа играет важную роль в добычи качественного сырья. Например, выемка трещиноватых блоков мрамора высокими уступами позволяет сохранить природную монолитность камня в процессе отделения блоков от массива. Система разработки с уступами с повышенной высотой (5-12 м) позволяет (кроме сохранения целостности добытых блоков) вырезать блоки требуемых размеров в процессе разделки монолитов. Однако с увеличением высоты вертикального уступа растет опасность его обрушения.

Мировой опыт использования технологии отработки высокими уступами подтверждает его экономическую целесообразность. Например, в США по аналогичной технологии разрабатывается месторождение розового мрамора Марбл Дистрик в штате Теннеси. Безопасность работ обеспечивается выбором направления отработки уступов и параметров карьерного поля. Положительный опыт применения высокоуступной технологии на этом карьере стимулировал проведение исследований по внедрению такой технологии на Першинском месторождении мраморизованных известняков.

Першинское месторождение расположено в Режевском районе Свердловской области в 10 км на северо-восток от города Реж и в 0,5 км южнее деревни Першино на правом берегу излучины р.Реж. Оно приурочено к Режевской зоне покровов с пластинами серпентинита и мраморизованного известняка и полосами меланжа с востока на запад. Полезная толща месторождения включает три разновидности мраморизованных известняков: светло-серые массивной текстуры, темно-серые с прослойками углисто-карбонатного вещества, известняковые брекчии красновато-бурого цвета. Известковая толща пород Першинского месторождения, по данным геофизиков, имеет аллохтонное залегание и привнесена с востока, где она образовалась в результате от-

ложения в морских условиях грабена*. Процесс перемещения аллохтона сопровождался тектоническим дроблением, складкообразованием и метаморфизацией. Процесс образования осадочных пород происходил путем отложения и накопления продуктов. Известковая толща отложилась в верхнем палеозое или карбоне. В результате перемещения породы карбона залегают на серых известняках девона. Особенностью этих пород является выраженная слоистость. В период современного этапа формирования месторождения осадочная известковая толща приобрела наклонное залегание под углами 50-70°.

С целью повышения безопасности разработки Першинского месторождения мраморизованных известняков определены элементы тектонически разрушенных зон и показатели физико-механических свойств пород, по которым выполнены расчеты устойчивости уступов.

Отличительным способом изучения структуры массива было цифровое фотографирование поверхностей обнажения. Автором работы с помощью цифрового фотографирования проведена съемка структурно-тектонических элементов строения массива на выбранных уступах карьера. Цифровая съемка позволила очень детально зафиксировать следующие элементы массива: интенсивность трещиноватости, нарушения, заполнителя швов и контактов, оценка блочности. Изучение произведено для каждого борта месторождения с привязкой фотоснимков к плану карьера.

Структурно-тектоническое строение массива определено по результатам анализа геологических разрезов и натурных наблюдений, выполнено построение структуры массива с выделением зон нарушений в прибортовой части массива. Наибольшее развитие зоны нарушений получили в западном и восточном бортах. Так, зона ослабления в западном борту имеет самую большую протяженность по простиранию. Прибортовой массив дезинтегрирован. Основная часть трещин имеет падение согласное со слоистостью.

По деформационному характеру сдвига эта тектоническая зона является надвиговой. Преимущественный наклон поверхности разрыва 70°. Детальное изучение строения северного борта позволило выделить сдвиговую тектоническую зону с углом падения 90°, возможно, сформировавшуюся по деструктивным трещинам. Этот участок включает ряд коротких залеченных трещин.

Восточный борт представлен слоистыми известняками. При создании поверхности обнажения отдельные уступы с выходящими в них нарушениями могут быть потенциально не устойчивыми. Визуальные наблюдения, проведенные на двух верхних горизонтах карьера, позволили уточнить общую мощность тектонической зоны: 20 м. Промышленная часть восточной зоны месторождения представлена в виде тектонических узлов на удалении 20 м друг от друга с развитой трещиноватостью. Природный массив восточного борта наиболее ослаблен. С точки зрения устойчивости бортов и качества добываемого блочного камня, уже на стадии проектирования из промышленных запасов следует исключить тектонически раздробленные участки, как это было сделано на месторождении Марбл Дистрик. При постановке бортов в конечное положение в прибортовом массиве не должно быть трещиноватых участков. Этого требуют и экономические соображения, поскольку некондиционный известняк дает очень малый выход кондиционных блоков.

Еще один важный фактор, ограничивающий карьерное пространство, – гидрогеологические условия. Важно, чтобы нарушенная зона выходила на поверхность. Иначе говоря, разуплотненные тектонические зоны не должны выходить в карьерное пространство, поскольку все поверхностные воды будут дренировать в карьер со сравнительно небольшой глубины. Дренирующая вода является слабым растворителем известняка и будет способствовать ухудшению физико-механических характеристик в пределах тектонической зоны.

* *Соколов В.Б.* Покровно-надвиговое строение земной коры Урала и его значение для металлогении // Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. Екатеринбург, 1996. С.102-112.

После уточнения детальной и общей картины строения прибортовых массивов можно сделать структурный прогноз на глубину, рассчитать параметры устойчивости и выполнить прогноз устойчивости с углублением карьера. Для устойчивости очень важны физико-механические свойства пород и структурных ослаблений. Физико-механические свойства пород массива взяты из справочника. Характеристики зон нарушений приняты по аналогам (другим месторождениям, на которых лаборатория устойчивости бортов карьеров ИГД УрО РАН проводила исследования).

Опыт эксплуатации рудных месторождений с прочными вмещающими породами подтверждает, что разрушение массива происходит благодаря плоскостям ослаблений. Для расчета устойчивости использована не традиционная схема, которая требует рассмотрения вариантов поверхностей скольжения, исходя из геометрии борта и средней интенсивности трещиноватости, а частный случай решения задачи (высокая прочность пород, обрушение, вызванное только природными дислокациями). Расчет велся по состоянию устойчивости фактических плоскостей трещин. Математический расчет коэффициента запаса устойчивости борта $k_{зу}$, выражающего соотношение между удерживающими и сдвигающими усилиями по вероятной поверхности скольжения от веса породной призмы, проведен на основе морфологии поверхности швов для наихудшего варианта.

Расчет устойчивости произведен для варианта, когда трещина непосредственно выходит в карьер. В этом случае коэффициент запаса устойчивости определяется как отношение сил сцепления по контакту к силам сдвига по контакту. Для этой схемы коэффициент запаса устойчивости от обрушения по трещине

$$k_{з.у} = \frac{0{,}5\gamma \operatorname{ctg}\theta \cos\theta \operatorname{tg}\varphi_1 \left(H_{уст}^2\right) + \dfrac{c_1}{\sin\theta} H_{уст}}{0{,}5\gamma \cos\theta H_{уст}^2},$$

где γ – объемная плотность пород, т/м^3; θ – угол падения слоистости, градусы; φ_1 – угол трения по контакту, градусы; c_1 – удельное сцепление, МПа; $H_{уст}$ – высота уступа, м.

Расчеты показали, что даже при неблагоприятном падении слоистости в карьер ($\theta = 70°$) на восточном борту возможно увеличение высоты уступов до 10 м. Воздействие воды ослабляет контакты породных блоков, поэтому в расчетах учтено изменение сцепления во времени. Для этого случая установлена предельная высота уступов: до 10 м при коэффициенте запаса устойчивости $K_{зу} > 1{,}3$. При коротком стоянии уступа и при $c_1 = 0{,}05$ МПа устойчивость уступов обеспечивается при любой их высоте. Так как геологические условия восточного борта наиболее неблагоприятны, можно считать, что при увеличении высоты уступов до 10 м устойчивость и других бортов будет обеспечена.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Г.В.Бычков*