

УДК 622.271

Г.М. Еремин

ОТСТРОЙКА КРУТОНАКЛОННЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ ОТКОСОВ И СПОСОБЫ ИХ КРЕПЛЕНИЯ В НАРУШЕННЫХ ЗОНАХ

Способы отстройки субвертикальных откосов на карьерах

В скальных горных породах основным условием увеличения углов наклона бортов карьеров остается отстройка долговременно устойчивых нерабочих уступов с крутыми (60-90°) углами откосов. Только обеспечив это, можно варьировать параметрами уступов и берм предельном контуре. Необходимо применять противодеформационную технологию буровзрывных работ при отбойке приконтурных заходок и заоткоске уступов. Надежная защита законтурного массива от взрывов предотвращает или сокращает до минимума осыпобразование, следовательно, позволяет уменьшить ширину предохранительных берм и их общее количество (особенно при применении наклонных берм и спиральных съездов). В настоящее время практически на всех рудных карьерах разница между расчетным и конструктивным углом наклона борта составляет 8-10° и более [1, 2].

Решению проблемы отстройки нерабочих бортов карьеров по специальной технологии начали уделять внимание в последние 15-20 лет, после того, как глубина карьеров стала превышать 150-200 м.

На рис. 1 приведена схема заоткоски высокого уступа с проведением экранно-отрезной щели на всю высоту двоянного уступа и с созданием наклонной бермы при отработке нижнего подступа [2].

Однако отсутствие отечественных буровых станков, позволяющих широко изменять параметры контурных скважин, создает серьезные осложнения в освоении новых технологий. Тем не менее и в этих условиях можно получить приемлемые результаты, не оставляя надежды убедить как машиностроителей, так и горняков в острой необходимости создания специальных буровых станков.

Таким же способом может быть выполнено формирование вертикального откоса высотой 24-30 м. Недостатком способа является то, что при ширине бермы 10 м «kozyрек» нижнего уступа окажется нарушенным при взрыве 1-го ряда рабочих скважин, а при проведении вертикальной отрезной щели «kozyрек» бермового горизонта окажется между двумя рядами ра-

Рис. 1. Схема оформления предохранительной бермы с отметки надбермового горизонта: 1 – отбойные наклонные скважины; 2 – предварительно пройденная экранно-отрезная щель; КЗДШ – пиротехнический замедлитель; 0, I, II... – очередность взрывания боковых скважин при принятом расстоянии меж-

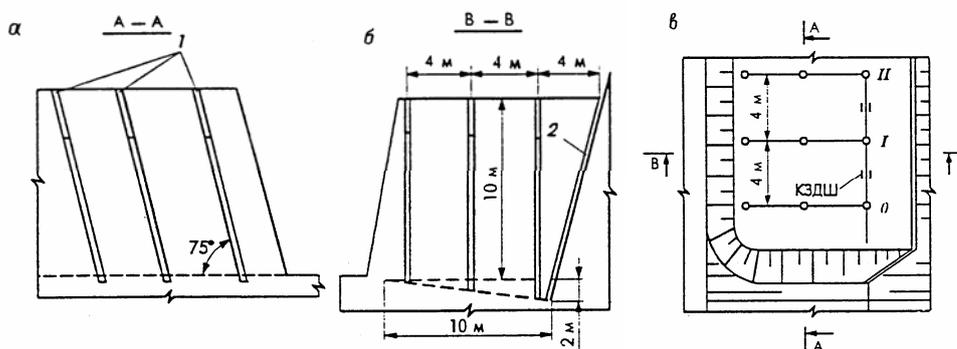
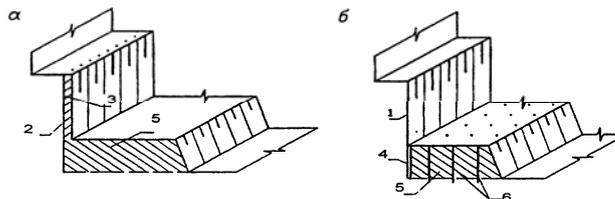


Рис. 2. Схема отстройки вертикального откоса на карьере алмазных трубок: 1 – откос в конечном положении; 2 – скважина заоткоски; 3 – породный промежуток; 4 – щель; 5 – нижняя лента (блок) заоткашиваемого уступа; 6 – рабочие скважины



ду скважинами 4-5 м.

При выборе метода отстройки вертикальных откосов на карьерах следует учитывать:

1. Особенности нарушений и трещиноватость пород заоткашиваемого участка.

2. Решение вопросов безопасного производства работ не только при отстройке (оборке заколов), но и последующего поддержания в устойчивом состоянии откосов при их осыпании.

Следует выделять субвертикальные, крутопадающие и наклонные ослабления, расположенные согласно с откосом. Сцепление породных слоев может изменяться от максимальных (контакт различных ненарушенных литотипов пород) до минимальных величин (падающие согласно с откосом трещины).

По теории конструкция уступов и участков борта (по Э.Л. Галустяну [2]) при наклонных и крутонаклонных контактах (ослаблениях) может быть: 1) с предельной высотой уступов, заоткошенных по контактам; и 2) с надрезкой контактов.

При этом угол откоса участка борта α меньше угла падения слоев (ослаблений) β на величину $\Delta\alpha_t$, зависящую от технологических особенностей и параметров уступов и берм:

$$\alpha = \beta - \Delta\alpha_t \quad (1)$$

С увеличением угла падения контактов (ослаблений) и прочности их сцепления угол откоса повышается, а величина $\Delta\alpha_t$ может снижаться. Так, известны случаи создания откосов крутизной 70° и высотой 70 м и более, а участка борта – $70-75^\circ$.

В зависимости от степени учета техногенного воздействия на породы (слои) (массовые взрывы и технология заоткоски) на карьерах прибегают к следующим методам управления вертикальными откосами:

1. На одном из карьеров (Канада) создают откосы ($h_y = 16,5$ м), соизмеримые с параметрами экскаваторов, что облегчает оборку уступов от заколов.

2. На карьере корпорации «Казахмыс» (Казахстан) разработку руды под вертикальными откосами осуществляют с помощью дистанционно управляемых погрузчиков.

3. На карьерах алмазных трубок вертикальные откосы отстраивают в глубокой зоне карьера, имеющей круглую форму.

4. На карьере АО «Ковдорский ГОК» по данным маркшейдерской службы рудника, вертикальные откосы, отстроенные в зоне разлома, подверглись частичным деформациям, оказались в мало нарушенных породах они оказались более устойчивыми.

Эффективным направлением, способствующем повышению устойчивости вертикальных откосов на карьерах, кроме учета геологических и техногенных факторов, является минимизация ВВ при создании экранной щели и исключение разрушающего действия заряда рабочих скважин.

Известен способ отстройки уступов с вертикальными откосами на карьерах алмазных трубок рис. 2 [3].

Экранирующая щель, созданная перед предельным контуром при взрывании отбойных скважин в предохранительных целиках в значительной мере ограничивает распространение деформаций и обеспечивает частичную защиту массива пород бермового горизонта. Этого недостаточно для поддержания в устойчивом состоянии нижнего уступа бермового горизонта, поскольку его «козырек» образован взрывом двух отбойных скважин: последнего ряда отбойных скважин перед приконтурной лентой и первого ряда при отработке приконтурной ленты. Нарушение массива в глубину (нижняя часть скважины) будет равно расстоянию до 10-20 диаметров заряда. Частично нарушенная верхняя приоткосная часть уступа («козырек») под воздействием атмосферных осадков, сейсмического действия массовых взрывов и выветривания пород будет быстро разрушаться. Для безопасной очистки бермы вблизи откоса отсыпают предохранительный вал высотой 1–1,5 м, за которым продолжается разрушение

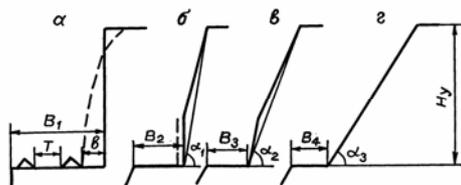
kozyрька и падение камней. Ширина вала может изменяться от 2,2 до 3-4 м, уменьшая, таким образом, ширину проезжей части предохранительной бермы и затрудняя ее очистку. Поэтому после отбойки и уборки горных пород верхнего подуста на расстоянии 12-14 диаметров заряда от контурных скважин на всю высоту уступа бурят ряд буферных скважин с перебором 6-8 диаметров заряда от бермового горизонта, затем бурят ряд отбойных скважин на расстоянии 16-17 диаметров заряда от буферных скважин с перебором 4-5 диаметров заряда. Следующий ряд скважин бурят вблизи нижнего сдвигаемого откоса на расстоянии от него 4-5 диаметров заряда с недобуром 7-8 диаметров заряда.

Последний ряд отбойных скважин обрабатываемой нижней приконтурной ленты бурят также на расстоянии 16-17 диаметров заряда от предыдущего ряда с перебором 4-5 диаметров заряда.

В результате образуется уступ с минимальным нарушением как самого откоса, так и его верхней части – «kozyрька», защищенный породным валом минимальной ширины и большей высоты (предложение Горного института КНЦ РАН).

На рис. 3 приведены профили откосов сдвоенных уступов в скальных породах, соответственно: малотрещиноватых (вертикальный), среднетрещиноватых (наклонно-вертикальный по Э.Л. Галустьяну, наклонный в верхней части и крутонаклонный в нижней части уступа по В.Н. Попову и в трещиноватых породах (наклонный).

а, б, в, г – соответственно вертикальный откос, наклонно-вертикальный (по Э.Л. Галустьяну, наклонный в верхней части и крутона-



яну, наклонный в верхней части и крутона-

Рис. 3. Схема применения на карьерах уступов с различными профилями (а-г): а, б, в, г – соответственно вертикальный откос, наклонно-вертикальный (по Э.Л. Галустьяну, наклонный в верхней части и крутонаклонный в нижней части уступа по В.Н. Попову и наклонный); а, б, в, г – B_1, B_2, B_3, B_4 – ширина бермы; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы наклона плоских откосов; H_y – высота уступа; T – ширина проезжей части бермы; v – проекция траектории падения камней из верхней части уступа

клонный в нижней части уступа по В.Н. Попову и наклонный).

а, б, в, г – B_1, B_2, B_3, B_4 – ширина бермы; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы наклона плоских откосов; H_y – высота уступа; T – ширина проезжей части бермы; v – проекция траектории падения камней из верхней части уступа

Из рисунка видно, что в зависимости от прочностных свойств пород массива и нарушения его тектоникой и трещиноватостью длительная устойчивость уступа может регулироваться углом его наклона. При отстройке вертикальных откосов (рис. 3а) следует учитывать необходимость очистки их берм и отсыпку защитных валов при возможном падении камней из «kozyрька» откоса. Это может увеличить размер берм. В прочных и малонарушенных массивах ширина берм при отстройке вертикальных откосов может составлять 10-12 м с учетом выветривания пород.

Укрепление откосов уступов и участков борта в карьерах.

Для повышения устойчивости откосов уступов в ослабленных зонах и в зонах интенсивной трещиноватостью пород необходимой мерой является их укрепление.

Опытном укрепительных работ на карьерах обосновано, что даже в слабых и сильновыветрелых породах за счет их укрепления арматурой из стали и каната можно создать устойчивый массив, отличающийся значительными прочностными свойствами.

Для защиты пород от выветривания на карьерах применяют покрытия поверхности (бетонные, битумные и гидрофобизирующие), из которых чаще всего используется набрызгбетон как крупнозернистый, так и мелкозернистый (называемый торкретбетоном).

На Кургашиканском карьере цементацией и железобетонными сваями были укреплены 4 неустойчивых участка. Общий объем укрепленных пород составил 50 тыс. м³.

Себестоимость укрепления 1 м³ пород с помощью цементации и железобетонных свай составила 0,26-0,5 руб., что позволило получить экономию около 25 тыс. руб.

Для обеспечения устойчивости участка борта карьера Зыряновского свинцово-цинкового комбината из-за появления заколов и раскрытия трещин до 10 см в сильнотрещиноватых породах (известковых алевролитах) по рекомендации ВНИМИ были установлены 27 железобетонных свай (диаметром 214 мм), расположенных через 3-4 м (рельсы Р-33). Об-

щий объем укрепления составил 36 тыс. м³, себестоимость укрепления 1 м³ – 0,1 руб.

Откосы укреплялись железобетонными штангами и набрызгбетоном. Штанги устанавливались по сетке 2,5×4 м на глубину 3–4 м. Толщина защитного слоя откоса составила – 5–7 см. Себестоимость укрепления 1 м³ составила 1,25 руб. (в ценах до 1989 года).

Известны случаи укрепления откосов на многих карьерах России, СНГ и в зарубежной практике. На всех их получен положительный эффект от укрепления откосов уступов.

Укреплением участков уступов можно достичь повышения их крутизны на 10–20°. Так, на Приморском руднике в результате укрепления откоса штангами, на выступающие концы которых навешивалась металлическая сетка с ячейей 5×5 см и диаметром проволоки, равным 3,5 мм, а сетка укреплялась опорными плитами размером 200×200 мм, удалось повысить угол откоса с 60 до 80° [2].

Положительный опыт укрепления откосов железобетонными сваями получен и на других карьерах. Так, по данным Э. Л. Галустяна, на одном из карьеров в нарушенных тектоникой зонах удалось укрепить откос железобетонными сваями, цементацией и защитной железобетонной стенкой [1]. Это позволило сохранить проектные углы откоса 60° при высоте 30 м по всему борту. Откос укреплялся железобетонными сваями с двух горизонтов высотой по 10 м, так же возводили и железобетонную стенку. Стенка защищала весь откос высотой 30 м с углом наклона 60°.

Укреплением ослабленных скальных пород в бортах карьеров можно повысить крутизну откосов не только уступов, но и участков борта на 10–20°. В Канаде при глубине карьера 150 м укреплением участка борта, сложенного крепкими скальными породами, разбиты-

ми на блоки плоскостями отдельности, напряженными анкерными тросами и стальными штангами удалось увеличить угол наклона борта с 35,5° до 53°. Прибыль, полученная за счет сокращения вскрыши, составила 3 тыс. долл. на 1 м длины борта.

Несмотря на повышенную трудоемкость выполнения работ обосновывана целесообразность укрепления откосов таким способом в сложных горно-геологических и горно-технических условиях. Такими же способами можно укреплять и вертикальные откосы на карьерах. Для укрепления ослабленных пород уступов с косыми прослойками, падающими в сторону выемки под углом 43–45°, и вертикальных откосов уступов в сравнительно прочных породах Ковдорского карьера комплексных железных руд предложен вариант свайного укрепления.

Для условий Ковдорского карьера и особенно участка юго-восточного борта с косой слоистостью и ослаблениями, падающими в карьер под углом 43–45°, в сравнительно прочных фенитах целесообразно применить свайное укрепление откоса, несколько отличающееся от способа, использованного на карьере «Мир».

Для повышения сдвига-разрывных усилий создаваемого укрепленного участка массива сваи (рельсы или буровые штанги) должны быть поставлены под некоторым углом, препятствующим разделению слоев. В данном случае целесообразно сваи поставить под углом 70° и длиной 12–13 м. Обычно при свайном укреплении их устанавливают через 3–5 м в зависимости от степени на-

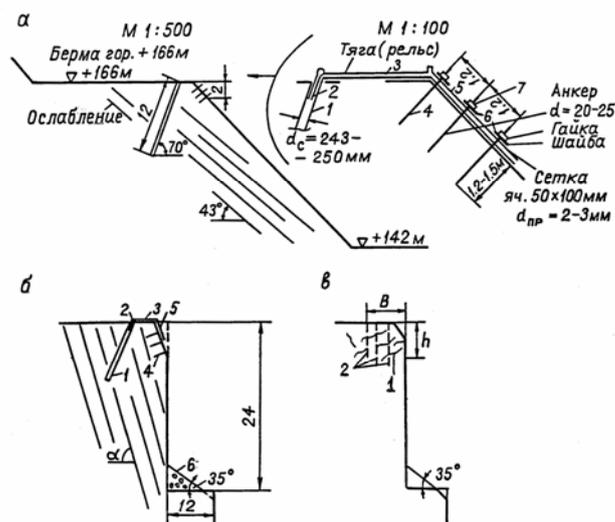


Рис. 4. Схема укрепления откосов с наклонной (а) и крутонаклонной (б) слоистостью пород: а – 1, 2 – соответственно, скважина и буровая штанга (рельс); 3 – тяга (рельс); 4 – анкер; 5 – сетка; 6 – шайба; 7 – болт; d – диаметр анкера (штанги); б – укрепление откоса с крутонаклонными ослаблениями; б – откос осыпи камней α – угол падения слоистости, град; в – укрепление откоса смолиноинъекцией через скважины; 1 – трещина; 2 – скважина

рушенности массива. Под таким углом они лучше работают на срез, чем вертикальные. Таким образом, могут быть «связаны» несколько пачек слов. По простиранию борта расстояние между сваями целесообразно принять 2-3 м (учитывая снижение прочностных свойств фенигов от действия взрывных нагрузок вблизи откоса уступа).

Для снижения разрушения верхней части откоса высотой $h=2-3$ м целесообразно укрепить его сеткой с ячейей 10-5 см, причем верхняя ее часть соединяется с анкером, а последний, в свою очередь, связан со сваей тягой (облегченный рельс). Сетка по высоте прижимается к откосу с помощью шайбы анкерами через 1,2-1,3 м, а по простиранию уступа – 1-1,5 м. Глубина анкеров – 1,2-1,5 м. Диаметр анкеров – 20-25 мм, а проволока имеет диаметр сетки 2-3 мм. После нанесения торкретбетона получается жесткая конструкция, которая обеспечивает устойчивость откоса и работоспособность предохранительной бермы в течение длительного времени. Для улавливания камней, выпадающих из вышерасположенного сплошного откоса высотой 68 м, на краю бермы должен быть отсыпан породный вал высотой 1-1,5 м.

При крутом падении слоистости ($\beta = 70-80^\circ$) и отстройке вертикальных откосов целесообразно осуществлять укрепление откоса по технологии, приведенной выше, для исключения постепенного разрушения откоса (рис. 4б).

При более прочных породах по данным опыта укрепления пород сваями (при отсутствии открытого расслоения пород и включений слюдястых частиц) может быть допущена разрядка между сваями до 3-4 м, меньшая глубина шпуров (скважин) под анкера и возможно применение облегченной металлической сетки. Применение такой конструкции крепи оправдано при небольшом разрушении верхней части откоса. Такая технология укрепительных работ позволяет разместить весь осыпаемый материал на бермах с фактической шириной 10-11 м (при 12-метровой их ширине по проекту, как правило, 1-2 м разрушается при существующей технологии заоткоски уступов). Предлагаемые для учета и применения параметры берм подтверждаются опытом заоткоски уступов на карьерах.

В трещиноватых горных породах по данным опыта укрепления пород сваями особенно после разрушающего действия взрыва, способствующего раскрытию трещин, целесообразно применение инъекционной технологии укрепления откосов на основе применения смол, в частности полиуретановых, положительно зарекомендовав-

ших себя по опыту их применения на ряде зарубежных предприятий (Германия, Швеция, Финляндия, страны СНГ) и на отечественных, в том числе в АО «Апатит» (подземные работы).

На рис. 4в приведена схема укрепления откоса шириной B и высотой h инъекционным нагнетанием смолы через скважины в массив. Параметры укрепляемого массива определяются категорией трещиноватости и типом пород, их раскрытостью (шириной щели). Такой способ укрепления менее трудоемок и позволяет сохранить откос в устойчивом состоянии длительное время.

Заслуживает интерес применение полиуретановых смол [4]. По данным этой работы полиуретановые смолы, обладая высокой проникающей способностью при нагнетании их под высоким давлением, могут заполнять до 90-95% имеющихся в массиве трещин. Затвердевший полиуретан обладает остаточной пластичностью, что дает возможность упрочняющему массиву деформироваться без разрушения и выдерживать сейсмические нагрузки.

Способ укрепления откосов прибортовых массивов на карьерах применением полиуретановых смол рекомендуется в скальных и полускальных сильнотрещиноватых породах. В мировой практике распространены способы упрочнения приконтурного массива выработок при помощи инъекционирования синтетических смол, а также крепления выработок сталеполимерными анкерами.

Положительный опыт применения смол для укрепления приконтурного массива горных пород имеется на рудниках Норильского комбината и других рудниках, в том числе СНГ (Казахстан, корпорация «Казахмыс»).

Из приведенного выше следует, что в настоящее время известны и опробованы в практических условиях различные способы укрепления откосов на карьерах, которые с учетом горно-геологических и горно-технических условий могут найти применение и на карьерах Мурманского региона.

Опыт работы карьеров по поддержанию откосов уступов и бортов карьера в устойчивом состоянии показывает, что в условиях разрушения откосов по тем или иным причинам и влияющим факторам: (горно-геологические и горно-технические, выветривание пород) во многих случаях целесообразно своевременно укреплять откосы.

Эффективность укрепления откосов в карьерах определяется по формуле

$$\Theta = \Delta V_B \times C_B - V_Y \times C_Y, \quad (2)$$

где ΔV_b – уменьшение объема вскрыши в результате укрепления; V_y – объем укрепления породы, m^3 ; C_b , C_y – себестоимость, соответственно, вскрыши и укрепления, $руб./m^3$.

В предельном случае при равенстве объемов разрушения уступа и его укрепления стоимость укрепления может достигать себестоимости выемки и транспортирования вскрыши из карьера

$$C_y = C_b. \quad (3)$$

Учитывая необходимость поддержания берм (особенно транспортных) в устойчивом состоянии и минимизации объемов вскрыши, по данным расчетов, целесообразно укреплять откосы уступов, начиная с третьего от поверхности.

По данным опыта укрепления откосов на карьерах (штангами, железобетонными сваями) стоимость укрепления изменялась от 0,1-1,2 $руб./m^3$ до 1,67-1,8 $руб./m^3$ (в ценах до 1989 г.), а себестоимость выемки вскрыши при этом составляла 1,2-2,2 $руб./m^3$. Экономический эффект в зависимости от конкретных условий составлял от 15-18 тыс. $руб./год$ до 25-100 тыс. $руб./год$ (в ценах до 1989 г.).

Выводы и рекомендации

1. Отстройку вертикальных откосов необходимо осуществлять в зонах малонарушенных скальных пород; при крутом и наклонном падении слоев в сторону выемки отстройка вертикальных откосов нецелесообразна, особенно со стороны лежачего бока залежи, поскольку это приведет не только к интенсивному осыпанию, но и оползанию пород уступов.

2. При применении шадящей технологии формирования вертикальных откосов создание щели осуществляется бурением сближенных скважин, наклоненных на $10-20^\circ$ в продольном направлении щели для прижатия гирляндного заряда к стенке простреливаемого промежутка между скважинами, и на расстоянии 16-20 м до подхода горных работ к зоне заоткоски. Этим повышается экранирующее действие взрыва и зашита верхней части откоса уступа от разрушения.

3. Для снижения разрушающего действия рабочих скважин в верхней части нижнего откоса на бермовом горизонте целесообразно исключить перебур рабочих скважин нижней ленты уступа для создания естественного «вала» – монолита на бермовом горизонте для упрощения и облегчения очистки бермы.

4. При интенсивной трещиноватости верхней части откоса, а также трещинах, падающих вглубь массива, целесообразно вести укрепление откоса применением свайного крепления, и верхней части откоса – металлической сеткой и торкретбетоном, а также – инъекцией смол. Затраты на укрепление могут составить 0,1-0,2 от себестоимости выемки $1 m^3$ пород.

5. После опробования технологии заоткоски уступов с вертикальными откосами на Ньюоркпакском карьере отстройку таких уступов целесообразно распространить на Коашвинский карьер и карьер Центрального рудника в глубоких зонах с малонарушенными и прочными породами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галустьян Э.Л. Совершенствование конструкции нерабочих бортов карьеров // Горный журнал, № 1-2, 1996. – С. 93-95.
2. Галустьян Э.Л. Типизация бортов карьеров по критерию оптимальности углов их наклона // Горный журнал, № 2, 1999. – С. 29-33.
3. АС № 1670133 А1 Е21 СУ1/96. 15.08.1991. Бюллетень № 30; АС № 2178079

СИ Е21 СУ1/26. 10.01.2002. Бюллетень № 1.

4. Низаметдинов Ф.К., Омаров С.Т., Голованов А.Г. Укрепление прибортовых массивов полиуретановыми смолами // Горный информационно-аналитический бюллетень, № 6, 2000. – М.: Изд. МГГУ. – С. 134-136.

Коротко об авторах

Еремин Г.И. – кандидат технических наук, Горный институт Кольского научного центра РАН.