

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ОБРУШЕНИЕМ

В. В. Голицын

В процессе эксплуатации карьеров оползни и обрушения бортов и уступов часто приводят к нарушению режима работы карьера и требуют значительных средств и времени на их ликвидацию. При специальной технологии разработки пород вскрыши обрушения могут приобрести качественно иной характер и быть использованы для повышения эффективности открытых работ.

Возможность использования обрушения, как способа разработки пород вскрыши, неоднократно упоминалась в литературе [Димидова, 1958; Метц, 1958; Радионов, 1954; Фисенко, 1964]. Опыт гидромониторной разработки показывает, что использование обрушения уступов, как способа разработки месторождений полезных ископаемых, сложенных слабыми породами, является перспективным.

Возможные схемы разработки с использованием обрушения можно разделить на две группы.

Первая группа. Разработка ведется с принудительным обрушением. Высота обрушаемого слоя (уступа) принимается меньшей или равной предельной высоте вертикального откоса H_v [Фисенко, 1965]

$$H_v = H_{90} \left(1 + \sqrt{\frac{\sigma_p}{K} \operatorname{tg} \omega} \right), \quad (1)$$

где H_{90} — глубина трещин отрыва, $H_{90} = \frac{2K}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$;

K — сцепление пород в массиве;

$$\omega = 45 + \frac{\varphi}{2};$$

γ — объемный вес пород;

σ_p — сопротивление пород отрыву;

φ — угол внутреннего трения пород.

При высоте обрабатываемого слоя $H < H_v$ для его обрушения необходимо подрезать основание слоя (вруб). При $H \geq H_v$ обрушение проявляется обычно в форме отрыва вертикального блока с поворотом его в сторону выемки, а для обрушения следующей заходки необходимо вынуть призму в основании уступа.

Вторая группа. Разработка ведется естественным обрушением. Мощность обрушаемого слоя значительно превышает предельную высоту

вертикального откоса и обрушение (оползень) происходит при нарушении предельного равновесия, которое наступает при возрастании напряжений вдоль поверхности скольжения или при уменьшении прочности пород.

К первой группе относятся схемы разработки (рис. 1): а — горизонтальными слоями с высотой подрезаемого слоя до 15 м. Подрезка слоя осу-

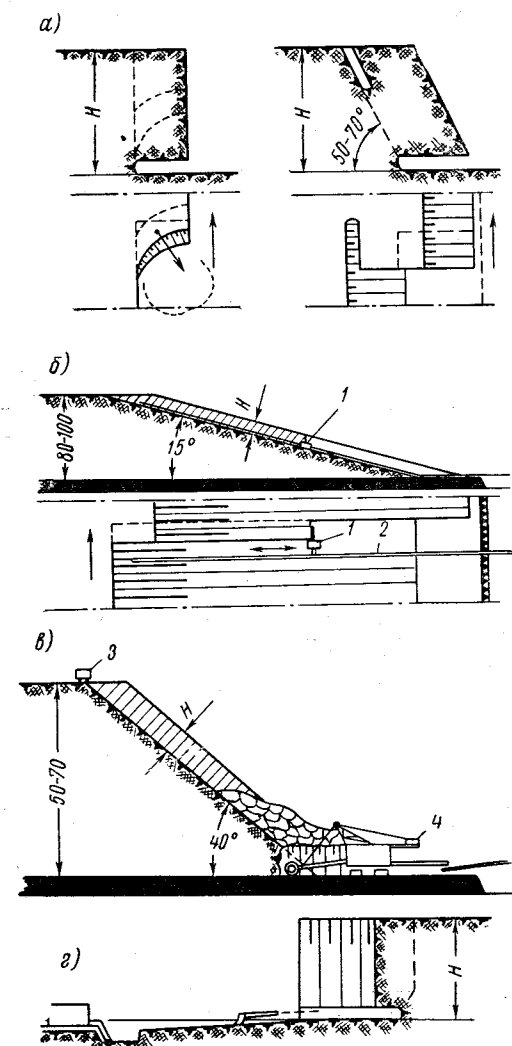


Рис. 1. Схемы разработки с принудительным обрушением:

1 — экскаватор обрушения; 2 — транспортер; 3 — тяговая лебедка канатной пилы; 4 — погрузочная машина.

ществляется врубными щелями различной конфигурации и расположения (рис. 1, а); б — наклонными слоями, предложенная институтом Ленгипрошахт (рис. 1, б) [Димидова, 1958; Метц, 1958]; в — разработки вскрыши методом искусственного обрушения при наклоне обрабатываемых слоев под углом, равным или превышающим угол естественного откоса [Голицин, 1964]. Подрубка слоя осуществляется специальной машиной типа врубной или канатными пилами (рис. 1, в); г — гидромониторная (рис. 1, г).

Ко второй группе относятся схемы (рис. 2): а — разработки с самооползанием [Руководство, 1962] (рис. 2, а); б — гидромониторная разработка высоких уступов с предварительным обрушением пород путем обводнения массива уступа под напором (метод инженера Карцева) или через канавы, расположенные на верхней площадке уступа; при этом уменьшается сцепление и сопротивление пород отрыву, а также создается гидростатическое давление по поверхности обрушения (рис. 2, б); в — самообрушение высоких откосов при разработке плавучими снарядами (рис. 2, в); г — с обрушением откоса значительной высоты путем подработки в основании шнеко-буровой машиной (рис. 2, г).

Как видно из приведенных схем, область их применения в основном определяется месторождениями, сложенными слабыми породами с горизонтальным и пологим залеганием. Схемы 1, в и 2, г можно применить и для месторождений, сложенных более прочными осадочными и выветрелыми породами (Кузбасс, Канско-Ачинский буругольный бассейн и др.).

Одним из определяющих факторов применимости большинства из этих схем является возможность управления процессом обрушения и его

безопасность. Для обоснования этого положения необходимо достаточно точно выявить характер и закономерности течения процесса обрушения, определить параметры и объемы обрушающихся масс породы, а также разработать методы и приборы, которые предупредят о начале критических деформаций обрушающихся откосов.

В качестве примера изучения характера обрушения и определения основных параметров рассмотрим схему разработки с самооползанием (рис. 2, а). По этой схеме толща песчано-глинистых пород мощностью более 40—50 м отрабатывается одним уступом. Оползшая масса пород от-

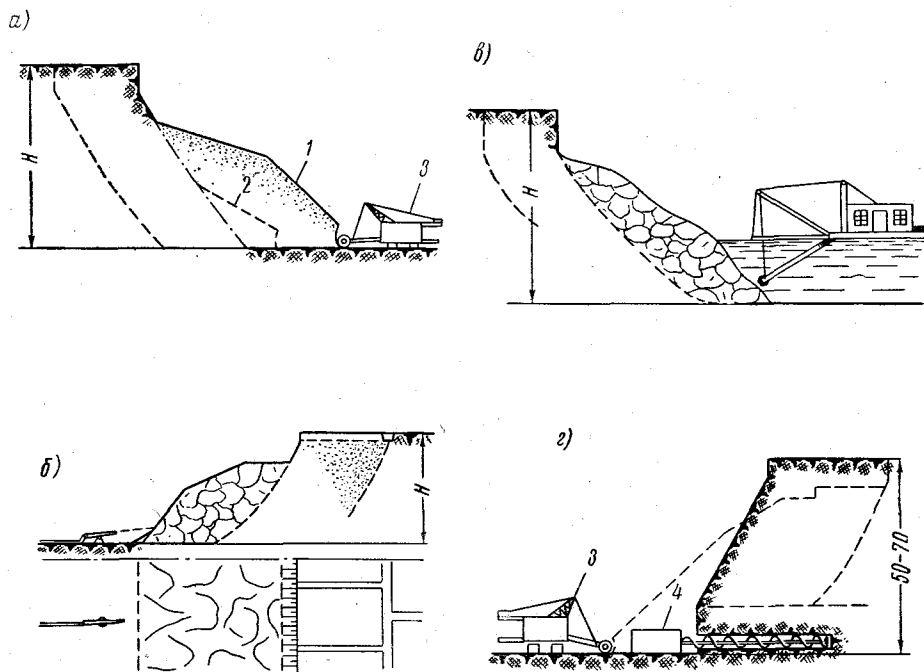


Рис. 2. Схемы разработки с естественным обрушением:

1 — профиль борта после обрушения; 2 — профиль борта перед новым циклом обрушения; 3 — погрузочная машина; 4 — шнеко-буровая машина.

гружается погрузочной машиной и передается по системе транспортеров в отвал. Уборка обрушившейся породы, служащей подпором для откоса после каждого обрушения, производится до тех пор, пока в откосе не начнется новый цикл обрушения (рис. 2, а, положение 2).

Вследствие значительной ползучести глинистых пород их обрушению предшествуют значительные деформации проседания верхней площадки, прилегающей к откосу. Скорость смещения к моменту обрушения откосов высотой более 50 м в слабых породах обычно достигает 15—20 мм/ч [Фисенко, 1964], а суммарные смещения превышают 1—2 м и могут быть зафиксированы простейшими автоматическими станциями, которые предупредят о начале критических деформаций откоса.

Одним из важнейших условий успешного применения этой схемы является наличие в основании обрушаемого уступа прослойка слабых пород или слабого контакта с незначительным сопротивлением сдвигу. Эти поверхности ослабления способствуют образованию обрушений.

Эта схема проверена в лабораторных условиях на моделях из эквивалентных материалов по методике, разработанной в лаборатории

устойчивости бортов карьеров ВНИМИ. При моделировании выявляли качественную картину процесса обрушения откосов при подработке, определяли поведение обрушившихся пород в процессе их удаления, устанавливали основные параметры схем, определяющих технологию отработки и основные размеры рабочих механизмов.

Моделировались песчано-глинистые породы при $K = 4 \div 12 \text{ Т/м}^2$, $\rho = 26 \div 32^\circ$, $\gamma = 2 \text{ т/м}^3$ в масштабе 1 : 200.

В качестве материала модели использовался мелкий кварцевый песок с дробью и добавкой 3—5% технического масла. Прочностная характеристика материала: сцепление $K_m = 4,6 \text{ Г/см}$; угол внутреннего трения $\rho_m = 33^\circ$ — 35° , объемный вес $\gamma_m = 3,72 \text{ г/см}^3$. Слабый контакт моделировался крупной молотой слюдой по органическому стеклу. Сцепление по контакту $K'_m = 1,0 \text{ Г/см}$, угол внутреннего трения $\rho'_m = 19^\circ$.

Перед моделированием рассчитали устойчивость обрушаемого откоса по прочностным



Рис. 3. Схема к расчету устойчивости обрушаемого откоса. Положение откоса: 1 — перед обрушением; 2 — после обрушения. Расчетные характеристики: $K = 4,6 \text{ г/см}$; $\rho = 35^\circ$; $K' = 1,0 \text{ г/см}$; $\rho' = 19^\circ$; $\gamma = 3,72 \text{ г/см}^3$.

характеристикам эквивалентного материала. Задача решалась методом многоугольника сил совместно с методом алгебраического суммирования сил по криволинейной поверхности.

В откосе провели ряд поверхностей ослабления (рис. 3) и рассчитали коэффициент устойчивости [Руководство, 1962]

$$n = \frac{P_1 \cos \beta (\operatorname{tg} \rho' - \operatorname{tg} \beta)}{E \sin \theta (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{tg} \rho') + K' L_1}, \quad (2)$$

где P_1 — вес призмы упора;

E — реакция между призмами упора и активного давления,

$$E = \sum T - \operatorname{tg} \rho \sum N - K L_2;$$

$\sum T$ и $\sum N$ — сумма сдвигающих и удерживающих сил, действующих по поверхности скольжения;

L_1 — поверхность скольжения по ослаблению;

L_2 — площадь участка поверхности скольжения шириной в единицу и длиной L_2 ;

β — угол наклона поверхности ослабления;

K' и ϱ — сцепление и угол внутреннего трения по поверхности ослабления.

θ — угол пересечения криволинейной части поверхности скольжения с поверхностью ослабления.

Расчеты показали, что величина шага обрушения (ширина заходки A) составляет 14 см, или около 30% высоты откоса. В природе это составит 28—30 м при высоте откоса 90—100 м. Величина остаточного развала, при которой начинается новый цикл обрушения, 30—35% от общего объема развала при обрушении откоса.

Моделировали на плоском стенде. Модель закатывали горизонтальными слоями по 5—6 см. Высота обрабатываемой модели 48 см, первоначальный угол откоса $43^\circ 30'$, угол падения ослабленного контакта в сторону выемки 3° . На поверхности модели устанавливали индикаторы, которые фиксировали величину деформации верхней площадки откоса.

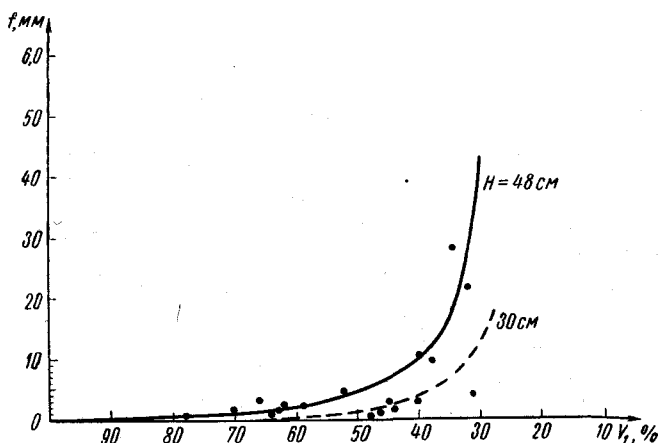


Рис. 4. Зависимость деформации верхней площадки уступа от величины объема остаточного развала.

Наблюдением по четырем циклам обрушения выявлены определенные закономерности и параметры обрушения. Так, например, шаг обрушения составляет 12, 11, 10 и 13 см, или около 25% высоты обрушаемого уступа. Новый цикл обрушения начинается после того как объем развала достигает 40, 31, 32 и 36%, или в среднем 35% (для данных условий) от величины первоначального развала. При этом коэффициент устойчивости по поверхности скольжения, которая фиксировалась на модели, составляет 0,94—0,99. Характер нарастания деформации показан на рис. 4. Ширина развала, которая определяет безопасное расстояние расположения вскрышного оборудования от нижней бровки откоса в момент обрушения, не превышает 0,4—0,5 высоты уступа.

Обрушение (оползание) уступа происходило по поверхности скольжения, близко совпадающей с расчетной (теоретической). Картину обрушения уступа при его подработке, а также поведение обрушившихся пород в процессе их удаления, в общем случае можно представить следующим образом. Как известно, часть массива между плоскостью откоса и наиболее слабой поверхностью скольжения называют призмой возможного обрушения. Ее условно можно разделить на призму активного давления и призму упора. В призме активного давления преобладают сдвигающие силы,

а в призме упора — удерживающие. При подработке основания откоса срабатывается призма упора и при этом происходит перераспределение в сторону увеличения сдвигающих сил. Отношение удерживающих сил к сдвигающим становится равным или меньшим единицы, напряжения вдоль поверхности скольжения превзойдут предел прочности пород и произойдет обрушение. После обрушения откос имеет выпуклую форму (рис. 2, а и 3): в нижней части угол откоса равен $35-45^\circ$, а в верхней $18-30^\circ$. Общий угол $30-32^\circ$. Разницу между общим углом и углом естественного откоса на $3-5^\circ$ можно объяснить наличием сил инерции при обрушении.

При уборке обрушившегося материала вторичные обрушения захватывают только зону развала. Каждое такое обрушение происходит только после того, как угол развала становится равным или несколько большим угла естественного откоса. После того как объем общего развала V_0 достигает определенной величины V_1 , происходит обрушение, захватывающее новый участок массива, и развал приобретает профиль, аналогичный первоначальному (рис. 3, кривая 1). Затем процесс удаления обрушившегося материала повторяется. Подобные деформации обрушаемого массива в практике горных работ имели место на ряде месторождений. Например, по данным Г. Л. Фисенко [1965], при обрушении трех уступов на восточном борту Ермолаевского разреза, где высота участка борта, подвергшегося обрушению, 23 м, а общий угол наклона борта $16-22^\circ$, в период отгрузки оползающих масс обрушение борта повторялось еще трижды: 18 апреля, 29 мая, 3 июня 1955 г. Размеры оползня в этот период увеличились с 220 до 440 м по простиранию, а объем обрушившихся пород достиг 500 тыс. м³ (при первоначальном объеме около 150 тыс. м³).

Участок сложен суглинками мощностью до 10—15 м, переходящими в нижней части в глинистые галечники мощностью до 4—6 м, ниже которых залегают третичные глины. Первоначально оползень проявился оседанием площадки верхнего уступа на 5—6 м и образованием разломов. При отгрузке оползшей массы в верхней части борта происходило проседание и обнажение поверхности скольжения, которая на высоте 5—6 м была вертикальной. После проседания оползневых масс и обнажения поверхности скольжения происходило новое обрушение верхнего уступа.

В мае 1962 г. на карьере Усть-Брынькино Боровичского комбината огнеупоров [Веселков, Веселаго, Глозман, 1965] произошел оползень нерабочего борта западной части разрезной траншеи на участке протяженностью около 60 м с распространением в глубь массива до 14 м от верхней бровки борта. Объем обрушившихся пород составлял около 14 тыс. м³. В геологическом строении этого участка участвуют моренные суглинки с галькой, гравием и валунами, трещиноватый известняк, песчаная глина, а также пропластки угля и углистых глин. Высота борта траншеи в районе оползня 29 м, а угол откоса борта до оползня 30° . Оползень произошел по прослою сильно пластичных глин, залегающих на глубине 26—29 м от поверхности. Прочностные характеристики слоя очень низкие: $K' = 1,5 \text{ Т/м}$, $\rho' = 0^\circ$.

Расчет устойчивости борта показал, что коэффициент запаса устойчивости борта по наиболее слабой поверхности скольжения на этом участке близок единице, т. е. борт был в состоянии предельного равновесия. После оползания пород на этом участке за счет создания подпора из обрушившихся пород (увеличения призмы упора) коэффициент запаса устойчивости откоса увеличился до 1,35, что подтверждается и моделированием. Начатая затем уборка оползших масс создала благоприятные условия для новых подвижек оползня, а это в свою очередь привело к уменьшению призмы упора и к следующему циклу обрушения.

Выводы

1. Обрушение (оползание) подработанного уступа значительной высоты носит характер определенной закономерности, цикличности.

2. Параметры обрушения зависят от высоты уступа, угла наклона поверхности ослабления и прочностных характеристик всего массива и слабых прослоек.

3. Для горизонтально залегающих песчано-глинистых пород характерны следующие параметры обрушения: шаг обрушения 0,25—0,30 и ширина развала 0,4—0,5 от высоты уступа, объем остаточного развала 30—40% от первоначального.

4. Применимость расчетных схем доказана сходимостью параметров обрушения, полученных расчетом и моделированием.

5. Результаты моделирования и наблюдений обрушения в естественных условиях свидетельствуют о возможности практического применения предлагаемой схемы разработки, когда породы представлены песчано-глинистыми рыхлыми разностями, склонными к обрушению или оползанию (породы Никопольского марганцевого, Камыш-Бурунского железорудного, Днепровского и Южноуральского угольных месторождений).

ЛИТЕРАТУРА

Веселков В. И., Веселаго А., Глозман Г. Р. Деформации и противооползневые мероприятия на карьере Усть-Брынькино. Тр. ВНИМИ, № 56, 1965.
Голицын В. В. Нахождение параметров открытой разработки с обрушением пород моделированием. Изв. вузов, Горный ж., № 6, 1964.

Димидова М. Н. Карьер нового типа. Изд-во АН СССР, 1958.

Метц А. М. Новые решения в проектах угольных и сланцевых разрезов, разработанных Гипрошахтом. Бюлл. Проектирование и строительство угольных предприятий, № 6, 1958.

Радионов Г. В. К вопросу о типе землеройного комбайна для гидромелиоративных работ. Тр. горно-геологич. ин-та ЗСФ АН СССР, вып. 14, 1954.

Руководство по определению оптимальных углов наклона бортов карьера и откосов отвалов. Ротопринт ВНИМИ, 1962.

Фисенко Г. Л. Отработка вскрыши с использованием обрушения. В сб. Обмен передовым опытом в маркшейдерском деле. ГОСИНТИ, 1964.

Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. Недра, 1965.
