Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. ХХ, вып. 2, 1976 г.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТКОСАМИ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

М.А.Ревазов

Масштабы производства, большая глубина и достигнутая интенсивность понижения открытых горных работ определили необходимость нового подхода к решению проблемы обеспечения длительной устойчивости карьерных откосов – разработки теории управления состоянием бортов карьеров, под которой подразумевается система основных научных идей по целенаправленному технологическому и специальному воздействию на борта открытых горных выработок. В основе этих идей лежит богатая практика разработки месторождений открытым способом в разнообразных условиях и объективные закономерности и взаимосвязи инженерно-геологических, горнотехнических и экономических факторов.

В связи с неопределенностью среды, в которой формируются борта карьеров, с неоднородностью и большой изменчивостью литологического состава, свойств и структуры массива горных пород, к которому, как правило, приурочены месторождения полезных ископаемых, проектирование бортов предельного контура глубоких карьеров только тогда может быть эффективным, когда оно строится на этой неопределенности и имеет возможность гибко реагировать на изменение инженерно-геологических условий, зачастую выявляющееся в процессе разработки месторождения.

Важнейшими инженерно-геологическими факторами, определяющими устойчивость бортов карьеров, является прочность горных пород, их трещиноватость и слоистость, склонность к выветриванию, ползучести и набуханию, а также наличие тектонических нарушений и обводненность пород. Возможность проявления каждого из перечисленных факторов и количественная оценка их влияния на устойчивость в каждом конкретном случае зависит от степени инженерно-геологической изученности массива. На стадии разведки месторождений и проектирования предприятий исходной инженерно-геологической информации, как правило, недостаточно для назначения достоверных макси-

мальных устойчивых углов наклона бортов на предельном контуре карьеров. Это вызывает необходимость при расчете углов наклона бортов карьеров вводить коэффициент запаса устойчивости, под которым, понимается отношение суммы всех внутренних сил сопротивления сдвигу горных пород к сумме всех сдвигающих сил.

Количественная оценка влияния природных факторов на устойчивость откосов наиболее полно дана в трудах Г.Л.Фисенко, В.Д.Ломтадзе, В.А.Мироненко, Н.Н.Маслова, К.Шротке, Г.П.Чеботарева, А.М.Гальперина, Н.К.Звонарева и др. Анализ работ этих авторов позволяет дать приближенную количественную оценку степени влияния каждого из основных факторов на коэффициент запаса устойчивости бортов карьеров, %:

Структура массива	20;
Физико-механические свойства пород	5-10 (за счет погрешности в определении расчетных показателей);
Гидрогеологические факторы	10-15;
Наличие подрабатывающих подземных выработок	до 10 (фактор локального характера);
Сейсмичность района	5

При установлении коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров в реальных условиях совокупное влияние всех отмеченных факторов встречается крайне редко. Обычно при проектировании однажды принятый и в дальнейшем неизменный коэффициент запаса распространяется в целом на нерабочий борт карьера и из-за отсутствия достоверной инженерно-геологической информации носит локальный характер. При этом на локальных участках борта фактический коэффициент запаса устойчивости может оказаться ниже нормативного, а на других - значительно превысить его. Соотношение таких участков, их протяженность и глубина, а также надежность определения их фактического коэффициента запаса устойчивости для невскрытых месторождений является величиной неопределенной.

Выбор реальной величины коэффициента запаса с известной степенью надежности его определения возможен лишь на стадии вскрытия и разработки месторождения. Отсюда вытекает разработанная под руководством В.В.Ржевского идея выбора коэффициента запаса устойчивости по стадиям (проектирование, вскрытие, достижение проектной мощности и т.д.) с корректировкой для различных глубин разработки и по мере увеличения степени изученности массива.

Анализ проектных решений и опыта открытой разработки значительного числа месторождений свидетельствует, что нередко на стадии проектирования выбор завышенной величины коэффициента запаса устойчивости бортов без ее корректировки в процессе эксплуатации приводит к большим излишним затратам на вскрышные работы и снижает эффективность открытой разработки. Это обуславливает необходимость ориентирования карьера на меньшую надежность и на большую степень риска, предусматривающую на последующих этапах возможность увеличения, в случае необходимости, устойчивости бор-

114573

та с помощью специальных мероприятий (например, изменение направления развития горных работ, искусственное укрепление неустойчивых участков и т.п.). В этом случае коэффициент запаса устойчивости становится функцией изменчивости инженерно-геологических условий разработки.

Из изложенного вытекает необходимость создания на карьерах специальной службы для непрерывного накопления объективных данных и изучения изменяющейся в процессе разработки инженерно-геологической обстановки, по становки тщательных инструментальных наблюдений за устойчивостью нерабочих бортов глубоких карьеров и выполнения мероприятий по искусственному укреплению ослабленных участков и зон.

Общая устойчивость борта и угол его наклона определяются инженерно-геологическим разрезом данного участка: литологическим составом пород, их прочностью, характером и степенью трещиноватости, направлением падения слоев или плоскостей рассланцованности, тектоническими нарушениями, простирание которых близко к простиранию борта, материалом, заполняющим тектонические разломы и нарушения, гидростатическим давлением, распределенным по поверхности скольжения.

Устойчивость отдельных уступов или отдельных локальных участков бортов определяется тектонической нарушенностью данного участка борта или уступа, общей интенсивностью трещиноватости пород, склонностью их к выветриванию, ориентировкой относительно простирания откоса крупных тектонических трещин, слоистости и сланцеватости, фильтрационными деформациями, связанными с просачиванием воды на откосы уступов.

Искусственное укрепление откосов уступов целесообразно во всех случаях, когда общий угол наклона борта, установленный по условию устойчивости наиболее слабых неукрепленных откосов, оказывается положе углов наклона бортов, определенных расчетом на основе геологических факторов, характерных для массива в целом. Искусственное укрепление откосов уступов и берм необходимо во всех случаях, когда они недостаточно устойчивы на относительно коротких участках, хотя это существенно и не влияет на общий угол наклона борта.

Локализация ослабленных зон в пределах карьерных полей возможна на основе предложенного П.Н.Панюковым пространственно-геометрического метода прогноза устойчивости карьерных откосов, позволяющего учесть топографию поверхностей скольжения, а также объемные силы различной природы (гравитационные, фильтрационные, сейсмические).

Сланцеватость метаморфических горных пород приводит к обрушению откосов уступов в случаях, когда плоскости сланцеватости наклонены в сторону свободной поверхности откосов под углами более 20-25°. При диагональном относительно простирания откосов уступов направлении падения плоскостей сланцеватости откосы уступов могут также обрушаться, если в разрезе, нормальном к простиранию откоса, плоскости сланцеватости падают в сторону свободной поверхности откосов под углами более 25-30°. Для обеспечения устойчивости откосов уступов под углами, превышающими углы падения плоскостей сланцеватости, их необходимо укреплять.

Слоистость всех осадочных горных пород также отрицательно влияет на устойчивость откосов уступов. Во всех случаях, когда падение слоев в

сторону свободной поверхности откоса превышает угол внутреннего трения по контактам между слоями пород, возможно обрушение уступов по контактам между слоями. Величина сцепления по наиболее слабым контактам между слоями чаще всего не превышает 2-5 тс/м^2 и под влиянием взрывных работ, набухания пород и выветривания может быть еще больше снижена, так что сцепление по контактам слоев следует учитывать при расчетах устойчивости откосов уступов только при большой надежности сохранения его во времени.

Тектонические нарушения влияют на устойчивость откосов уступов в тех случаях, когда они направлены под углом менее 45° к направлению простирания откосов, при углах падения, превышающих углы трения по этим поверхностям. Породы в зонах тектонических нарушений оказываются раздробленными, а на глубине до 50-70 м могут быть полностью дизинтегрированы процессами выветривания. Зона дробления пород значительно расширяется на участках пересечения двух и более систем тектонических нарушений. Тектонические трещины большого протяжения, согласнопадающие (продольные) или диагональные, пересекающиеся между собой и с откосом, часто являются причинами обрушений откосов уступов и нарушения проходимости берм.

Выветривание пород в откосах уступов – основная причина осыпания откосов и их выполаживания с течением времени. Осыпи образуются при углах откосов уступов, превышающих угол естественного откоса полностью раздробленных пород, когда частица, потерявшая связь с массивом, не может удерживаться на поверхности откоса силами трения. Со временем этот процесс разрушения и осыпания откоса приводит к накоплению осыпей на площадках уступов, выполаживанию откосов уступов и образованию сплошного откоса недопустимо большой высоты, что вызывает необходимость очистки берм и увеличения их проектной ширины или последующего их уширения после частичной сработки под влиянием осыпания. Осыпание пород с течением времени нарушает транспортные бермы, что вызывает необходимость их уширения за счет подрезки вышележащего откоса и перестилки железнодорожных путей.

С.В.Кагермазова установила, что скорость осыпания откосов уступов находится в прямой зависимости от угла заоткоски уступов, а также зависит от литологического состава пород, интенсивности и характера их трещиноватости, климатических условий района и пространственного расположения откоса относительно сторон света. Наиболее интенсивно выветриваются песчано-глинистые и глинистые породы – песчаники, глины, аргиллиты, алевролиты, мергельные глины, мергели. Среди изверженных и метаморфических пород наиболее интенсивно выветриваются полевошпатовые и хрупкие кварцсодержащие породы – диабазы, вторичные кварциты и др. Выветривание пород в откосах уступов, вызывающее образование осыпей, может быть предотвращено защитными покрытиями.

Характер и степень трещиноватости скальных и полускальных горных пород оказывает определяющее влияние на прочностные и деформационные свойства массива и имеет важнейшее значение при инженерно-геологической оценке состояния пород в бортах карьеров. Нарушение сплошности массива обусловлено, как правило, трещинами различных генетических типов. При инженерно-геологическом изучении трещиноватости принято различать: а) первич-

ную трещиноватость скальных массивов, под которой понимают трещины литогенетические, первичной отдельности и региональные, связанные с напряжениями в земной коре, синхронными образованию пород; б) вторичную трещиноватость, к которой относятся трещины тектонического происхождения, выветривания, бортового отпора и др.

На фоне первичной трещиноватости (величина трещинной пустотности в скальных породах обычно не превышает 2%) зоны развития вторичной трещиноватости выделяются аномально высокими значениями трещинной пустотности, что резко снижает физико-механические свойства массивов.

При оценке состояния скальных массивов следует иметь в виду, что мощность зон влияния тектонических нарушений является функцией не только размера нарушения, величины его смещения (амплитуды), но и состава пород. Установлено, что зоны сильной и повышенной трещиноватости, приуроченные к одному и тому же нарушению, имеют различную ширину в породах различного состава.

Трещиноватость и связанная с ней неоднородность массивов скальных горных пород приводят к проявлению «масштабных явлений" при определении прочности и деформируемости. «Масштабный эффект" при этом приводит к уменьшению средних или модальных значений этих параметров с увеличением объема исследуемых пород. Для однородных массивов эти изменения незначительны и механические свойства пород в образце мало отличаются от показателей, полученных при крупномасштабных опытах. Для неоднородных массивов эти различия значительны. Именно неоднородностью среды объясняются большие диапазоны изменения коэффициента структурного ослабления, широко применяемого при получении исходных данных для расчетов устойчивости бортов карьеров.

Управление состоянием бортов карьеров в значительной мере базируется на искусственном укреплении неустойчивых участков откосов и упрочнении слагающих их горных пород. Рассмотрим конкретные инженерно-геологические условия, в которых могут найти применение те или иные способы укрепления уступов.

I. Уступы скальных и полускальных пород с подрезанными поверхностями ослабления: контактами слоистости, сланцеватости, трещинами и другими нарушениями, падающими согласно с простиранием борта.

Заоткоска уступов под углами, превышающими углы падения слоев пород и других поверхностей ослабления, приводит к подрезке контактов, которые являются потенциальными поверхностями скольжения. Опыт показывает, что с течением времени связи между частицами пород в зоне контакта ослабевают и сцепление практически стремится к нулю. Так как только силами трения уступ удержаться в равновесии не может, особенно при увлажнении контактов, то развиваются деформации – оползни и обрушения уступов. Предотвратить такие деформации можно, своевременно приняв меры по их укреплению. Наиболее приемлемы для рассматриваемых инженерно-геологических условий механические способы укрепления: железобетонные сваи и штанги, гибкие тросовые тяжи. Иногда укрепление сочетают с цементацией пород.

При полной подрезке контактов слоев пород в пределах высоты уступа неустойчивой является вся толща выше поверхности скольжения. Уступ укрепляют железобетонными сваями большого диаметра трубчатого сечения, которые „прошивают" все подрезанные слои пород. Замки свай закрепляют ниже поверхности скольжения, а верхние концы заанкеривают в устойчивом массиве. Пологие откосы в верхней части укрепляют железобетонными сваями, а в нижней – штангами.

При частичной подрезке контактов расчетом определяют возможность разрушения пород вкрест слоистости в основании откоса. Если расчеты подтверждают такую возможность, то нижнюю часть откоса укрепляют тросовыми тяжами.

В зависимости от физико-механических свойств горных пород в контактных зонах коэффициент запаса устойчивости уступов после заскоски может быть больше или меньше единицы. В первом случае работы по укреплению уступов можно производить после их заскоски, во втором, когда характеристики прочности пород в контактной зоне таковы, что подрезка контактов недопустима, вначале укрепляют уступ железобетонными сваями, а затем производят его заскоску. Укрепление сваями обеспечит достаточную устойчивость уступа на время, необходимое для завершения укрепительных работ, которые можно производить только с откоса уступа (укрепление анкерами, покрытие поверхности откоса и пр.).

Уступы скальных пород, подсеченные трещинами или тектоническими нарушениями, укрепляют, в зависимости от угла падения поверхности ослабления, сваями или штанговой крепью. Если угол падения нарушения меньше 50^{0}, применяют сваи или шпоны, если же больше 50^{0}, – штанговую крепь.

2. Уступы скальных и полускальных пород, ослабленные системами трещин или отдельными трещинами, ориентированными диагонально направлению простирания борта.

Влияние этих систем или трещин на устойчивость уступов различно. Поэтому выделяют основные, наиболее опасные системы трещин. По ним и сопряженным с ними системам возможны обрушения пород с образованием „желобов". Деформации развиваются постепенно и вначале сопровождаются небольшими осыпями. Процесс активизируется в результате сейсмического действия взрывов. Нарастание деформаций во времени приводит к обрушениям больших массивов пород. Такие обрушения наблюдались на карьерах „Объединенный" и „Миллионный". Донского рудоуправления.

В зависимости от назначения берм выбирают способ их укрепления. Обычно применяют комплексное укрепление: транспортные бермы укрепляют сваями и штангами с одновременной цементацией ослабленной зоны. В качестве цементационных используют скважины, пробуренные для установки свай. Штанги устанавливают в плоскости, нормальной к простиранию поверхности трещин. На карьере „Объединенный" таким способом укреплены транспортные бермы на двух горизонтах общей протяженностью около 350 м.

Улавливающие бермы, не несущие постоянных нагрузок, достаточно укреплять штангами в сочетании с покрытием поверхности откосов подвесными железобетонными стенками.

Если породы не склонны к выветриванию, то для предотвращения осыпей вызываемых сейсмическим действием взрывов и локальных обрушений, поверхность откоса между штангами затягивают металлической сеткой с антикоррозийным покрытием.

3. Уступы скальных и полускальных пород, заостренные по наслоению или согласно падающим трещинам.

В уступах, заостренных по наслоению, деформации проявляются в виде отслаивания отдельных блоков пород, разбитых трещинами, нормальными к поверхности слоев. Откосы укрепляют сваями или штангами. Последние применяют для упрочнения крутых откосов. Пологие откосы укрепляют комбинированно: железобетонными сваями в верхней части уступа и штангами или тяжами в нижней части.

4. Уступы, сложенные интенсивно выветривающимися скальными и полускальными породами.

Уступы скальных и полускальных пород, не нарушенных поверхностями ослабления, но склонных к интенсивному выветриванию после обнажения, образуют осыпи, которые приводят к сработке берм. Поверхность откосов таких уступов укрепляют подвесными стенками, а отдельные неустойчивые блоки пород – штангами, которые одновременно служат для подвески металлической сетки.

5. Уступы в аллювиальных и делювиальных отложениях.

Наличие в пределах карьерных полей естественных склонов, древних речных террас и трогов может явиться причиной возникновения оползней.

В основании толщи несцементированных пород залегают либо плотные глины и суглинки, либо скальные и полускальные породы.

При наличии твердых пород в основании оползня уступы укрепляют массивными железобетонными подпорными стенками или контрфорсами, которые сооружают непосредственно на скальном или полускальном основании. Подпорные стены возводят на всю высоту уступа только в тех случаях, когда породы сильно увлажнены, в связи с чем оползень обладает большой подвижностью. Чаще высота стены составляет 1/2 или 1/3 высоты уступа.

Контрфорсы обычно отсыпают на всю высоту уступа. Особенно это необходимо в случаях, когда отсыпку ведут взамен вынутых рыхлых пород. В противном случае обрушение подработанных откосов рыхлых пород на контрфорсом приведет к постепенному его заиливанию и потере фильтрующей способности. При наличии в основании контрфорса недостаточно прочных пород, сдвиг может произойти по более глубоко расположенным поверхностям скольжения. Для предотвращения этого подпорные стены и контрфорсы сооружают на свайных фундаментах.

6. Уступы полускальных пород со слабыми прослоями в основании.

Наличие в основании уступов, сложенных относительно крепкими горными породами, слабого слоя даже небольшой мощности часто приводит к образованию оползней. В зависимости от мощности слабого слоя укрепление можно производить железобетонными сваями и шпонами (при мощности слабого прослоя более 0,5 м), а также разрушением взрывом контактов, включающих слабый слой, с перемешиванием пород и в некоторых случаях с цементацией

их в раздробленной зоне (при мощности слабого слоя меньше 0,5 м).

Одним из эффективных способов борьбы с ветровой эрозией и размывом поверхности откосов сточными водами является применение комплекса агромелиоративных мероприятий: засев поверхности откосов травами и кустарником с развитой корневой системой, организованный сбор и отвод поверхностных стоков, соответствующая планировка поверхности бермы и территории, примыкающей к карьеру, проходка нагорных и дренажных канав.