

УДК 622.271.33.013

Н.И. Просандеев

**ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ
УГЛОВ ОТКОСОВ БОРТОВ
ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ**

*Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины,
Днепропетровск, Украина*

Розглянуто проблеми підвищення кутів укосів бортів глибоких кар'єрів до 60-70°. Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду їх формування показав, що оптимізація конструкцій бортів кар'єрів повинна базуватись на врахуванні реальних фізико-механічних властивостей складаючих його порід, порушеності масиву порід і гідрологічних умов залягання, а також технологій розробки.

Рассмотрены проблемы повышения углов откосов бортов глубоких карьеров до 60-70°. Анализ зарубежного и отечественного опыта их формирования показал, что оптимизация конструкций бортов карьеров должна базироваться на учете реальных физико-механических свойств слагающих его пород, нарушенности массива пород и гидрогеологических условий залегания, а также технологий разработки.

Постановка проблемы

Открытая разработка месторождений полезных ископаемых сопровождается интенсивным ростом глубины карьеров, что выдвигает на первый план решение вопросов по их воздействию на окружающую среду, и как следствие, по конструктивным особенностям формирования бортов карьеров и обеспечению их длительной устойчивости, а также предотвращению деформаций приконтурного массива горных пород вследствие постоянно ухудшающихся горно-геологических и инженерно-геологических условий выемки горной массы, изменения напряженно-деформированного состояния горного массива и воздействия на него природных и техногенных факторов.

Анализ опыта производства открытых горных работ показал, что при их проектировании и добыче полезных ископаемых применяются упрощенные методы расчетов параметров бортов карьеров. Такой подход был приемлем для небольшой глубины разработки (до 100-150 м), поскольку экономический ущерб (экологический ущерб почти не учитывался) от неточного определения границ открытых работ и формы выработанного пространства был невелик.

Однако в настоящее время добыча большинства полезных ископаемых производится на глубоких и сверхглубоких карьерах (глубиной до 600 м) и поэтому научное обоснование параметров бортов глубоких карьеров и особенно углов их откосов имеет большое значение, поскольку определяет количество разрабатываемых пород, глубину, целесообразность и эффективность открытой разработки, ее технико-экономические и экологические показатели, а также безопасность производства горных работ. Так, при глубине разработки пород до 500 м повышение углов откосов бортов карьеров от 45 до 55° дает сокращение объемов вскрышных пород на 110-170 млн м³. В свою очередь, это устанавливает и степень техногенного воздействия на окружающую среду и ее основные компоненты: атмосферу, земельные ресурсы, поверхностные и подземные воды, биоценозы прилегающих территорий. Поэтому увеличение углов откосов бортов глубоких карьеров в современных условиях является актуальной научной задачей и относится также к области фундаментальных исследований проблем открытой разработки месторождений полезных ископаемых, поскольку влияет на все компоненты горного производства.

© Просандеев Н.И., 2012

Анализ исследований по решению данной проблемы и постановка задачи

Определению параметров бортов карьеров посвящены исследования В.В. Ржевского, Н.Н. Мельникова, А.И. Арсентьева, Г.Л. Фисенка, М.А. Ревазова, Э.Л. Галустьяна, А.Г. Шапаря, В.Н. Попова, В.А. Фокина, Ю.М. Николашина и многих других. Выполненные исследования в большинстве случаев посвящены определению устойчивости бортов карьеров при некотором учете ослабляющих факторов приконтурного массива горных пород. Хотя именно малая изученность и учет закономерностей изменения состояния горного массива в процессе ведения открытых горных работ, несовершенство методов оценки его устойчивости и прогноза привело к недостаточному развитию направления по повышению углов откосов бортов карьера, несмотря на его очевидные преимущества. Кроме того, увеличение углов откосов бортов глубоких карьеров сдерживается повышенными требованиями к безопасности производства горных работ, поскольку нарушение их устойчивости при-

ведет к катастрофическим последствиям. Поэтому при проектировании горных работ в скальных массивах стремятся заложить уже хорошо известные и опробованные углы откосов бортов, обеспечивающие их длительную устойчивость – 40-45°. В то же время существует возможность увеличения генеральных углов откосов бортов глубоких карьеров в скальных породах до 60° при отсутствии в массиве неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления. Данное положение соответствует также основной тенденции развития горнодобывающей промышленности – переходу от разработки месторождений, залегающих на малых глубинах в осадочных породах, к разработке глубокозалегающих месторождений в массивах высокопрочных скальных пород. Большую помощь в решении проблем повышения углов откосов бортов карьеров до 60° может оказать опыт их формирования на отечественных и зарубежных карьерах, чему и посвящена данная работа.

Основной материал

В зарубежной практике ведения открытых горных работ в высокопрочных скальных массивах уже достаточно давно используются крутые откосы бортов карьеров. Можно привести примеры: карьер Flintkote Mine (Канада), борт которого отстроен в гранитах под углом 70°; железорудный карьер Cleveland Cliffs (США), борт которого при высоте 120 м отстроен под углом 80°; карьер Westfrob Mine (Канада), глубиной 244 м с общим углом наклона борта 55°. Характерен пример карьера Айттик (Швеция), на котором, несмотря на достаточно сложные горно-геологические условия (трещиноватый и обводненный массив), отстраиваются вертикальные откосы уступов, а угол откоса борта достигает 51° при глубине до 300 м. Такой эффект достигается за счет применения специальных схем контурного взрывания, предусматривающих максимальное сохранение приконтурного массива. В российской практике ведения открытых горных работ формирование бортов глубоких карьеров с углами откосов 60-70° было выполнено впервые в суровых климатических условиях отработки кимберлитовых месторождений Западной Якутии. Климати-

ческие и природные условия Западной Якутии, относящиеся к разряду экстремальных, оказывают непосредственное влияние на параметры отработки месторождений. Наличие многолетней мерзлоты существенно повышает прочностные свойства приоткосного массива за счет цементирующих свойств льда, заполняющего трещины и микропоры. Поэтому при отработке кимберлитовых трубок это даёт возможность отстраивать борта карьеров со значительными генеральными углами наклона от 45 до 56° и, как следствие, уменьшить объёмы вскрышных работ. Таким образом, можно констатировать, что наличие многолетнемерзлых пород позволяет увеличивать углы наклона нерабочих бортов от 4 до 19°, при этом большее значение относится к углам наклона нерабочих бортов глубоких карьеров [1].

Для карьера «Удачный» была разработана новая конструкции сверхвысоких нерабочих уступов высотой до 180 м. Формирование сверхвысоких уступов предусматривалось осуществлять вертикальными подступами высотой 30 м, между которыми предполагалось разместить горизонтальные технологические бермы с гравитационной

очисткой шириной 10 м. Для защиты людей и механизмов над транспортным съездом предусматривалось сформировать защитную берму шириной 25 м с отбойным приямком. Кроме того, для прокладки инженерных коммуникаций предполагалась проходка специального транспортного съезда по тупиковой схеме с повышенным продольным уклоном. Прокладку воздушных линий планировалось осуществлять с применением высоких опор специальной конструкции, позволяющих преодолеть перепад высот до 180 м и пролеты длиной более 60 м.

Данная технология формирования бортов карьера применялась с 1997 г., что позволило уменьшить общие объемы вскрыши в контуре карьера на 46 млн м³ при существенном улучшении ситуации по совмещению его текущего и конечного контуров. Однако опыт эксплуатации отстроенных на карьере сверхвысоких уступов в течение трех лет показал, что вертикальная заоткоска вызвала активизацию системы закрытых трещин отрыва вертикальной ориентации, особенно по южному борту. Крупные блоки массива известняков и доломитов оказались в подвешенном состоянии. Неблагоприятное сочетание ориентировки вертикальных трещин отрыва (простираение субпараллельное борту карьера) и векторов главных нормальных растягивающих напряжений (перпендикулярное плоскостям трещин), а также наличие свободной поверхности вызвали активное раскрытие трещин сверху вниз. Для создания безопасных условий работы был реализован комплекс мероприятий по приведению откосов в безопасное состояние, в том числе осуществлено перепроектирование борта карьера с применением уступов полигональной формы. По результатам исследований был рекомендован вариант конструирования нерабочего уступа высотой 45 м полигонального профиля, отстраиваемого в верхней части высотой 30 м под углом 75° и в нижней – 15 м под углом 90°, с горизонтальной предохранительной бермой периодической зачистки шириной 15 м.

Для проверки принятого варианта на карьере «Удачный» был выделен опытно-промышленный участок борта, разработаны технология отстройки уступа и система мониторинга состояния подоткосного массива. Верхняя часть уступа высотой 30 м оконту-

ривается наклонными (под углом 75°) скважинами, пробуренными на всю высоту сдвоенного уступа. Нижняя часть уступа оконтуривается вертикальными скважинами, которые бурят с подошвы первого горизонта на расстоянии 4 м от наклонных скважин.

В настоящее время все вновь проектируемые кимберлитовые карьеры отстраиваются с предельными по прочностным свойствам параметрами нерабочих уступов высотой до 45 м под углом 80°.

В связи с этим серьезные изменения претерпела и схема вскрытия карьеров. При отстройке карьеров не используются наклонные бермы, они заменены сочетанием крутонаклонных и горизонтальных берм. До 60-80% высоты нерабочего борта вскрывается системой встречных съездов, в том числе и с однополосным движением автотранспорта. Широкое внедрение гидравлических экскаваторов с прямой и обратной лопатой привело к необходимости корректировки параметров системы разработки и конструкции рабочих уступов. Все вновь запроектированные карьеры отрабатывают с предельной по горнотехническим условиям производительностью по добыче руды. При этом скорость понижения добычных работ увеличилась с 11,6-15 до 20-24,5 м/год, т.е. на 52-60%. Величина продольного уклона транспортных берм особенно в нижней части карьеров возросла с 80 до 110-120%.

В конце 2006 года институтом Гипроруда завершена разработка проекта «Реконструкция карьера с целью восстановления проектной мощности Ковдорского ГОКа на основе укрупнения постоянных бортов карьера с увеличением глубины и периода открытой разработки». Из названия проекта понятно, что его главным отличием от всех предыдущих являются инженерно-геологические аспекты построения сверхглубокого карьера с крутыми углами откосов уступов и бортов. Согласно действующему проекту 1987 года, расчетные генеральные углы наклона бортов карьера при их высоте до 660 м составляли 37-40°, а откосы уступов в конечном положении отстраивали под углами от 40 до 70° в зависимости от трещиноватости пород. В новом проекте карьер отстроен с расчетными генеральными углами наклона борта до 60° и с откосами уступов до 90°. Проектированию карьера предшествовали

многолетние исследования и опытно-промышленные работы, результатом которых стала разработка технологических регламентов «Геомеханическое и техническое обоснование возможности укручения бортов карьера рудника «Железный» в конечном положении» и «Обоснование систем осушения и водоотведения карьера...» (Горный институт Кольского научного центра Российской Академии наук (ГоИ КНЦ РАН), Филиал Главного управления предприятий Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу (ФГУП «ВИОГЕМ»). Эти регламенты легли в основу инженерно-геологических решений проекта [2].

В регламентах представлен анализ геолого-структурного строения месторождения; прочностных характеристик пород в массиве и в ослабленных контактах (тектонические трещины, слоистость, сланцеватость, прослой слабых пород и т.д.); интенсивности трещиноватости по площади и по глубине; гидрогеологических условий; фактического состояния бортов и уступов карьера. На этой основе в проектируемом пространстве карьера выделены отдельные литотипы пород; участки с идентичным геолого-структурным строением; крупные тектонические нарушения и более мелкие разломы; зоны различной степени трещиноватости по глубине и по площади, а также составлена трехмерная геолого-структурная модель месторождения, чтобы иметь возможность прогнозировать склонные к обрушениям отдельные уступы либо участки борта карьера.

Исходя из петрографических особенностей, на месторождении выделено шесть литотипов пород. Все они, кроме пород зоны выветривания и интенсивной дезинтеграции, относятся к породам очень прочным ($\sigma_{сж} > 120$ МПа) или прочным ($\sigma_{сж} = 50 \div 120$ МПа). Выделено семь разрывных субвертикально залегающих нарушений 1-го порядка, которые не являются потенциальными поверхностями скольжения или их частью для бортов карьера. Разрывные нарушения 2-го и 3-го порядков в бортах карьера (в конечном положении) не могут быть

потенциальными поверхностями скольжения, так как большинство их является кососекущими относительно простирания бортов. Они будут влиять на устойчивость лишь отдельных уступов южного и восточного бортов.

Трещиноватость пород с глубиной уменьшается: до глубины 75-150 м в основном развита зона интенсивной трещиноватости с блочностью пород от 0,1 до 0,6 м; интервал 150-250 м – зона средней трещиноватости с блочностью пород до 1-1,5 м; 250-500 м – зона слабой трещиноватости с блочностью пород от 1,5 до 4-7 м; 500-850 м – в основном монолитные породы, блочность пород от 5-10 до 15-20 м. Упрочнению массива на больших глубинах способствует смыкание трещин, вызываемое пропорциональным ростом нагрузок. При определенных соотношениях величин наибольших вертикальных главных напряжений и сил бокового отпора прочность трещиноватого массива приближается к прочности монолита. С глубины 250 м размер элементарных структурных блоков ограничивается густотой основных тектонических нарушений, так как трещинные отдельности в большинстве случаев залечены гидротермальными растворами.

Исходя из данных инженерно-геологического районирования карьерного поля, по контуру карьера выделено 5 секторов (таблица 1), при определении границ которых учитывали литотипную выдержанность породного комплекса в пределах сектора. По каждому инженерно-геологическому сектору с идентичными условиями выполнены расчеты проектных параметров бортов и уступов карьера, обеспечивающих их устойчивость (таблица 2). Расчетный коэффициент запаса устойчивости принят $n' \geq 1$. Расчеты показали, что постановка уступов с вертикальными откосами возможна в крепких скальных породах, расположенных ниже зоны частичной дезинтеграции горных пород.

Максимальная высота вертикального откоса (при отсутствии факторов ослабления) рассчитана по методике Всесоюзного научно-исследовательского института горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ) и составляет в данном случае 40-100 м.

Таблица 1 – Инженерно-геологическое районирование карьерного поля Ковдорского карьера [2]

Номер инженерно-геологического сектора	Борт карьера	Породы, слагающие борт карьера
I	Северо-западный, северный, северо-восточный	Пироксениты, пироксенизированные оливиниты, оливиниты и руды
II	Центральная часть восточного борта	Пироксениты, ийолиты, оливиниты и руды
III	Южная часть восточного, юго-восточный, южный	Фениты и руды
IV	Юго-западный	Фениты, ийолиты и руды
V	Западный	Твейтозиты, ийолиты и руды

На участках центриклинальных зон трещиноватости, падающих в сторону выемки, и при расположении этих зон параллельно простиранию борта устойчивые углы наклона уступов оказались меньше вертикального и составили 65-75°. Общий угол наклона борта при глубине карьера до 970 м рассчитан по наиболее универсальной методике оценки устойчивости бортов в реальных горно-геологических условиях – векторного сложения сил (метод многоугольника сил). Данная методика учитывает реакции между блоками, на которые по определенным признакам разбивается призма возможного обрушения. Расчетный генеральный угол наклона борта карьера составил 60°.

Ширина предохранительных берм рассчитана из ожидаемых величин их срабатывания в зависимости от времени стояния уступа, а также из условия защиты нижележащей зоны от возможного падения (обрушения) камней. Методика упрощенных расчетов траектории движения камней при обрушении с откосов вертикальных уступов разработана в ГоИ КНЦ РАН на основании проведенных в карьере экспериментов по падению камней с высоты 24 м. При этом рекомендуется отсыпать на предохранительных бермах щебёночную «подушку» толщиной 0,8-1 м на участках, где ожидается интенсивный процесс осыпания, и над наиболее ответственными объектами (транспортные бермы, трассы конвейерных подъемников, водоотливные станции, пункты электроснабжения и т. д.).

Показанные выше основные конструк-

тивные параметры уступов и бортов карьера в конечном положении обоснованы расчетами, но сами по себе еще не гарантируют их устойчивость без выполнения комплекса специальных мероприятий, предлагаемых в проекте «Реконструкция карьера...» на основе проведенных в предпроектный период масштабных исследований и опытно-промышленных работ (ОПР). К ним относятся:

- защита законтурного массива горных пород от динамического воздействия массовых взрывов методом «щадящего» взрывания в зоне приближения горных работ к предельному контуру;

- разгрузка прибортовых массивов от застойных напорных вод, влияющих на устойчивость уступов, с помощью предложенной ФГУП «ВИОГЕМ» системы горизонтальных (слабонаклонных) дренажных скважин, обеспечивающих сток воды со снижением напора на нижележащем уступе и осушением вышележащего (отметим, что количественные оценки влияния обводненности прибортовых массивов на устойчивость уступов в карьере Ковдорского ГОКа отсутствуют);

- прогнозирование устойчивости, деформаций и разработка технологии закрепления ослабленных участков уступов и бортов карьера (исследования проведены ФГУП «ВИОГЕМ»),

- непрерывный контроль состояния породного массива (Горным институтом КНЦ РАН предложена многоуровневая система мониторинга для карьера Ковдорского ГОКа).

Таблица 2 – Конструктивные элементы глубокого карьера Ковдорского ГОКа [2]

Расчетный инженерно-геологический сектор	Угол наклона уступа, градус	Высота сдвоенного уступа, м	Ширина предохранительной бермы, м
Зона дезинтеграции			
Интенсивная	45	24	10
Частичная	60		
Сектор I			
Юго-запад			
+ 166 ...+ 142 м	75	24	10,4-12,4
+ 142...+70 м	90	24	10,0-11,3
ниже +70 м	90	30	12,0-13,0
Север			
+ 166... +70 м	90	24	10,0-11,3
ниже +70 м	90	30	12,0-13,0
Северо-восток			
до абс. отм. +70 м	75	24	10,4-12,4
+70 ... +50 м	75	30	12,9-15,0
ниже +50 м	90	30	12,0-13,0
Сектор II			
+ 142...+70 м	90	24	10,0 11,3
ниже + 70 м	90	30	12,0-13,0
Сектор III			
Восточнее обрушения			
+ 166... +40 м	50	24	10,0
ниже +40 м	90	30	12,0-12,4
Зона обрушения			
+ 142... +94 м	45	24	15,0
+94... +40 м	50 (65)	24-30	10,0
ниже +40 м	90	30	12,0-13,0
Южная центриклинальная зона:			
+ 190... +40 м	65	24-30	10,0
ниже + 40 м	90	30	12,0-13,0
Сектор IV			
Юго-западная центриклинальная зона			
до абс отм. + 190 м	60	24	10,0
до гор. +40 м	65	24-30	10,0
ниже +40 м	90	30	12,0
Сектор V			
Юго-запад			
+262... +70 (+40) м	75	30	12,9-15,0
ниже + 40 м	90	30	12,0
Запад			
+94... -635 м	90	30	12

Для условий залегания горных пород карьера Мурунтау (Узбекистан), в работе [3] выполнена оценка устойчивости бортов карьера в зависимости от их конструкции, формы контура и сейсмического воздействия. Оптимизация конструктивных парамет-

ров бортов карьеров произведена на основе сочетания численно-аналитических и инженерных методов расчета устойчивости откосов с использованием компьютерной техники. Установлено, что плоский, двугранный, многогранный, симметрично выпуклый и

выпуклый по циссоиде профили бортов карьеров имеют свою область применения и могут быть успешно реализованы с экономической и технической точки зрения при определенной глубине разработки. Однако ни один из перечисленных профилей борта не увязывается с конфигурацией карьера в плане и его линейными размерами (шириной по поверхности и дну, глубиной). В результате конфигурация карьера в плане определяется главным образом конфигурацией разрабатываемого месторождения, что в конечном итоге приводит к образованию завалом деформационно опасных участков бортов. Так, например, северный и южный борта карьера Мурунтау в соответствии с проектом 3-ей очереди его разработки имеются участки, выступающие в выработанное пространство, что вследствие их деформаций впоследствии привело к необходимости их спрямления.

Другим следствием применения метода определения профиля борта без учета размеров и конфигурации карьера в плане является увеличение объемов вскрыши, поскольку в этом случае не обеспечивается минимальный объем выработанного пространства. Данное условие считается выполненным, если площадь борта карьера минимальна, что достигается при средней кривизне его поверхности, равной нулю. В идеальном случае поверхность борта карьера имеет в плане круглую форму с радиусом R_1 на уровне поверхности земли и R_2 на уровне его дна, а центры окружностей лежат на одной оси "Z". Поверхность борта при этом конструируется путем вращения кривой во-

круг оси и имеет форму катеноида. Формирование борта карьера указанной формы позволяет увеличить угол наклона его нижней части до $50-60^\circ$ без потери устойчивости на больших глубинах.

В реальных условиях контуры карьеров в плане имеют самую разнообразную форму, поэтому их конструируют путем сочетания прямолинейных элементов и тел вращения. Соблюдение требований оптимального соотношения линейных размеров карьера в плане к размерам борта карьера в вертикальном сечении имеет существенное значение для глубоких и сверхглубоких карьеров, а расчеты показывают, что применение оптимального соотношения позволяет значительно увеличить глубину карьера без расширения границ по поверхности. Так, например, по сравнению с проектом глубина карьера Мурунтау в этом случае может быть увеличена на 200-250 м (т.е. на 20-30%).

Результаты расчетов вариантов построения профиля борта карьера Мурунтау для различной ширины дна приведены в таблице 3. При расчетах принято, что коэффициент запаса устойчивости бортов нового профиля должен быть не ниже коэффициента запаса устойчивости, получаемого при расчетах традиционными методами.

Возможность реализации нового метода построения профилей борта глубоких карьеров проверена путем расчетов по разработанному для ЭВМ программам. Этот метод использован при конструировании бортов карьера Мурунтау и может быть применен при проектировании глубоких и сверхглубоких карьеров.

Таблица 3 – Результаты расчетов профилей борта карьера Мурунтау (глубина карьера 670 м) [3]

Номер профиля	Ширина дна карьера, м	Максимальный угол наклона борта, град.	Объем чаши карьера, млн м ³	Коэффициент запаса устойчивости
1	220	63,0	1035	1,460
2	314	59,6	1116	1,419
3	388	58,1	1177	1,380
4	452	57,3	1230	1,306
5	510	57,1	1278	1,222
6	566	57,0	1318	1,182

Оценку устойчивости, как и определение максимальных углов погашения бортов меднорудных карьеров, в силу специфики залегания рудных тел и формы карьера

(близкой к круглой или эллиптической) определяют посредством решения объемной задачи с применением метода многоугольника сил (векторного сложения сил) [4].

Расчеты устойчивости и практика обработки меднорудных карьеров показывают, что борта в предельном положении имеют большой коэффициент запаса ($n = 1,5 \div 2$ и более), что позволяет увеличить углы погашения на $5-15^\circ$. Угол погашения бортов меднорудных карьеров глубиной 300-400 м должен достигать $50-60^\circ$, что определяет значительный резерв сокращения объемов вскрышных работ или увеличения глубины карьеров.

Устойчивость вогнутых в плане бортов, характерных для всех известных меднорудных карьеров, выше устойчивости прямолинейных бортов за счет дополнительного сопротивления смещению призмы обрушения, создаваемого силами бокового распора. Степень влияния бокового распора зависит от конфигурации борта в плане, геологического строения прибортового массива и соотношения протяженности откоса (борта) и его высоты.

Следует также отметить, что ввиду особенностей строения меднорудных месторождений (неправильные формы рудных тел и наличие сопровождающих мелких залежей) значительная часть запасов руд остается в бортах и на дне карьеров (от 5 до 20 млн т), доработка которых возможна, и на ряде карьеров («Блявинский», «Сибайский», «Учалинский» и др.) успешно осуществляется по локальным проектам, позволяя с помощью действующего оборудования дополнительно добывать 2-7 млн т руды.

Естественно, в результате выемки запасов в приконтурной зоне, увеличения общей высоты и углов погашения при доработке законтурных запасов руд снижается общая устойчивость борта. Тем не менее, каких-либо серьезных деформаций бортов не отмечалось. Это еще раз подтверждает, что углы погашения бортов меднорудных карьеров не достигли максимально допустимых значений и имеется возможность их увеличения и сокращения объемов вскрышных работ или увеличения глубины карьера. Увеличить углы откосов сгруппированных уступов в предельном контуре и уменьшить число берм можно за счет применения наклонных предохранительных берм. Увеличение угла наклона откосов уступов на меднорудных карьерах достигается также за счет применения специальной технологии обработки приконтурных лент и искусствен-

ного укрепления отдельных участков. При этом важно отметить, что технологии обработки приконтурных лент (контурное взрывание, укрепление отдельных участков уступов и наклонное расположение предохранительных берм) в практике открытых горных работ впервые в России начали применять на меднорудных карьерах («Сибайский», «Сорский», «Тайский», «Учалинский» и пр.).

Отечественный опыт формирования участков бортов карьеров с углом откоса 55° и высотой 144 м накоплен на ОАО «Полтавский горно-обогатительный комбинат». Карьер Днепровского рудоуправления (ДнРУ) разрабатывает запасы Горишне-Плавнинского и Лавриковского месторождений железистых кварцитов. Его строительство было начато в 1961 году. Ввод мощности на проектную производительность по добыче 15 млн т сырой руды в год осуществлен в 1970 году. В проекте 1982 года производительность комбината и, соответственно, карьера была пересмотрена и принята по сырой руде 33,95 млн т в год, по вскрышным породам – до 31 млн м³ в год. Проектом принята разработка месторождений с применением автомобильного и электрифицированного железнодорожного транспорта с вводом его на глубокие горизонты через юго-западную и северо-западную траншеи [5].

Карьер комбината вскрыт временными скользящими съездами и пока не имеет участков бортов, поставленных в конечное положение, что не позволяет создать постоянные транспортные коммуникации и минимизировать объемы вскрышных работ. В связи с этим для оптимизации объемов выемки и транспортирования вскрышных пород освоена технология формирования временно нерабочих бортов карьера путем отстройки целиков из 3-4 вертикальных уступов высотой 12 м, устойчивость которых обеспечивается контурным взрыванием зарядов вертикальных скважин. Между целиками оставляют предохранительную берму. Угол откоса участков временно нерабочих бортов достигает 55° при высоте 144 м.

Для оптимизации конструкций бортов карьеров, с учетом реальных свойств, структурных особенностей и напряженного состояния массивов пород глубоких горизонтов рудных месторождений Горным ин-

ститутотом КНЦ РАН разработана соответствующая методология [6].

В настоящее время традиционным считается представление массива пород дискретной средой, сплошность которой нарушена упорядоченной трещиноватостью, разделяющей массив на структурные блоки. Такие массивы горных пород принято называть блочными или раздельно-блочными. В существующих инженерно-геологических и горнотехнических классификациях, исходя из размеров образуемых структурных блоков, выделяют несколько порядков – классов, рангов структурных неоднородностей от крупных структур протяженностью десятки километров до небольших трещин размерами порядка десятков сантиметров. Очевидно, в этом случае необходимо говорить об иерархии структурных неоднородностей и соответственно структурных блоков в скальном массиве. Такой подход в последнее время получил значительное распространение, в результате чего принято рассматривать скальный массив с позиций иерархически-блочной модели среды.

Применение иерархически-блочной модели позволяет обоснованно определять вид и параметры эффективных структурных неоднородностей, т.е. тех, которые определяют процессы деформирования и разрушения данного конкретного объема пород или сооружения.

Степень влияния того или иного порядка неоднородностей определяется соотношением размеров соответствующих структурных блоков и геометрических параметров деформирующихся объектов. При этом механизм деформирования массива пород блочной структуры заключается в деформировании самих блоков и, кроме того, в их перемещениях относительно друг друга.

В условиях работы карьеров речь может идти о единичном уступе (иногда группе уступов) и о борте в целом. Если для уступа эффективным видом структурных неоднородностей являются, как правило, поверхности естественных крупноблоковых трещин, образующих структурные блоки с ребром в первые единицы метров, то для борта карьера эффективным видом будут структурные неоднородности более крупных размеров, образующих структурные блоки с ребром в десятки и первые сотни метров. Отсюда необходимо различать понятия «устойчивость

отдельного уступа или группы уступов» и «устойчивость борта карьера в целом». Во многих случаях нарушение устойчивости отдельного уступа или группы уступов отнюдь не означает катастрофической потери устойчивости борта в целом.

Напряженное состояние массивов скальных пород в большинстве случаев соответствует гравитационно-тектоническому типу, при котором в нетронутотом массиве максимальная и промежуточная компоненты главных напряжений горизонтальны и определяются тектоническими силами, действующими в рассматриваемом регионе, а минимальная компонента ориентирована в вертикальной плоскости. При этом абсолютное значение минимальной компоненты главных напряжений определяется как собственным весом вышележащих пород, так и боковым отпором максимальной и промежуточной компонент главных напряжений.

Предложенная методика геомеханического обоснования устойчивых параметров бортов и уступов карьеров в достаточной степени соответствует особенностям скальных высокопрочных массивов и может быть применена в соответствующих условиях на различных предприятиях, ведущих горные работы открытым способом. Поскольку формирование уступов и бортов карьеров с предельными устойчивыми параметрами возможно только при условии сведения к минимуму разрушения законтурного массива, необходимым элементом общей технологии постановки бортов карьеров в конечном положении является разработка специальной технологии буровзрывных работ.

Таким образом, на основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Формирование бортов глубоких карьеров с углами откосов до 60-65° возможно в различных горно-геологических, горнотехнических и климатических условиях – от Крайнего Севера (Якутия) до знойного юга (Узбекистан). Причем в условиях Крайнего Севера наличие постоянной мерзлоты является благоприятным фактором, поскольку способствует образованию монолитного массива горных пород, что повышает его устойчивость. В остальных природных зонах климатические условия являются неблагоприятными факторами, снижающими устойчивость бортов карьеров.

2. Повышение углов откосов бортов карьеров до 60° возможно только в случае, когда его параметры обусловлены только конструктивными элементами, а не устойчивостью массива горных пород. Изменение конструктивных параметров углов откосов бортов глубоких карьеров выполняется за счет удваивания, утраивания высоты пятнадцатиметровых уступов с углами откосов 80-90° и шириной площадок между ними 10-15 м, оборудованных камнеулавливающими валами.

3. Совершенствование технологических схем формирования бортов глубоких карьеров повышенной крутизны в первую очередь направлено на разработку новых технологических схем контурного взрывания, обеспечивающих минимальное нарушение массива горных пород в конкретных горно-геологических условиях.

4. Формирование бортов глубоких карьеров с углами откосов 60-65° возможно только после детального изучения физико-механических свойств пород, его слагающих, условий их залегания, детального изучения нарушенности массива пород – трещиноватости, наличия тектонических разломов и зон сдвижения, элементов залегания системы трещин и их падения относительно выработанного пространства карьера, гидрологических и сейсмических условий залегания пород борта карьера, то есть всех факторов, определяющих устойчивость борта карьера. Основой для проведения комплекса необходимых исследований может служить общая методология оптимизации конструкций бортов карьеров на основе реальных свойств, структурных особенно-

стей и напряженного состояния массивов пород глубоких горизонтов рудных месторождений, разработанная Горным институтом КНЦ РАН. И только после подтверждения устойчивости бортов глубоких карьеров возможно приступить к этапу формирования повышенных углов их откосов.

5. Методология оптимизации конструктивных параметров бортов глубоких карьеров должна найти свое дальнейшее развитие применительно к конкретным условиям каждого разрабатываемого месторождения с учетом объемного состояния массива горных пород.

6. Повышение углов откосов бортов глубоких карьеров до 60-65° позволит уменьшить объем извлекаемых вскрышных пород на 110-170 млн м³, сохранить от нарушения 220-380 га земельных площадей и снизить отрицательное воздействие открытых горных работ на окружающую среду.

7. В соответствии с приказом №249 от 27.05.2004 г. Министерства промышленной политики Украины Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины назначен головной организацией Министерства по научно-техническому направлению «Технология разработки рудных месторождений, обоснование устойчивости бортов карьеров и отвалов» и проводит исследования по путям повышения углов откосов бортов карьеров и отвалов Кривбасса не только, как одного из факторов повышения эффективности разработки месторождений, но и как фактора существенного снижения отрицательного воздействия на окружающую среду.

Перечень ссылок

1. Ганченко М.В. Определение границ и оптимизация технологических параметров открытых горных работ / М.В. Ганченко, А.Н Акишев, В.А. Бахтин // Горный журнал. – 2005. - №7. – С. 77-80.
2. Инженерно-геологические аспекты проектирования глубокого карьера Ковдорского ГОКа / М.В. Епифанова, С.А. Федоров, А.А. Козырев [и др.]. // Горный журнал. - 2007. - № 9. – С. 30-33.
3. Кучеровский Н.И. Совершенствование процессов открытой разработки сложно-структурных месторождений эндогенного происхождения / Н.И. Кучеровский. - Ташкент: Фан, 1998. – 254 с.
4. Туринцев Ю.И. Проблемы устойчивости бортов меднорудных карьеров / Ю.И. Туринцев, А.В. Жабко, П.В. Кольцов // Горный журнал. – 2009. - №2. – С. 31-33.
5. Лотоус В.В. Технично-технологическая модернизация железорудного карьера Полтавского ГОКа / В.В. Лотоус // Горный журнал. – 2009. - №11. – С. 96-98.

6. Мельников Н.Н. Новая концепция разработки месторождений глубокими карьерами / Н.Н. Мельников, А.А. Козырев, С.В. Лукичев // Горный журнал. – 2009. - №11. – С. 7-11.

N.I. Prosandeev

**THE PROBLEMS OF SLOPES ANGLES
INCREASE WITHIN DEEP QUARRIES**

*Institute for Nature Management Problems and Ecology of National Academy
of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine*

The article reveals the problems of slopes angles increase within deep quarries up to 60-70°. The analysis of foreign and national experience of their formation has showed that quarries slopes optimization should be based on real physical and mechanical qualities of content rocks, rock massive destruction, geological conditions and mining technologies.

*Надійшла до редколегії 10 жовтня 2011 р.
Рекомендовано членом редколегії докт. техн. наук В.І. Прокопенком*