

УДК 622.83:622.02.3

А.В. Яковлев, В.А. Сеницын, Н.И. Ермаков

**ОЦЕНКА ЗОН ТРЕЩИНОВАТОСТИ В ПРИБОРТОВОМ
МАССИВЕ ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ***

Семинар № 3

Как показывает опыт буровзрывных работ на ряде рудных карьеров, эффективность взрывания зависит не только от удельного расхода ВВ, сетки буровых скважин и схемы взрывания, но и от строения массива, то есть от наличия трещин и их интенсивности. Следует добавить, что на качество взорванной породной и рудной массы влияет ориентировка трещин по отношению к буровзрывным скважинам и к поверхности обнажения массива. В ряде ситуаций на размер куска породы после взрыва влияет и материал заполнителя швов трещин, поскольку негабариты почти всегда содержат нераскрытые трещины. Можно также добавить, что эффективность взрывания, то есть удельный выход взорванной массы, непосредственно связана и с величиной статических напряжений в краевой части прибортового массива, так как статические (тектонические) напряжения значительно увеличивают прочность пород в массиве.

Все дополнительные параметры, кроме прочностных характеристик пород, всегда могут быть ранжированы по степени их значимости на результат взрывания блока, хотя для этого требуются специальные исследования в натуральных условиях. В настоящее время можно только констатировать, что все они связаны между собой геологическими условиями образования рудной залежи и вмещающих пород. В

данной работе будет рассмотрен один из главных факторов строения массива – это наличие трещиноватости и степень ее раскрытия до проведения буровзрывных работ. Задача по оценке трещиноватости прибортового массива осложняется тем, что по протяженности трещины являются сравнительно небольшим элементом массива, то есть они не достигают длины 10 м. По своему генезису трещины объединяются в системы, имеющие одинаковую направленность и заполнитель. Система трещин объединяет ряд трещин, между которыми обязательно имеются породные перемычки. Например, в прибортовом массиве карьеров Качканарского ГОКа тектонические дислокации, как правило, развивались по двум-трем системам, одна из которых (наиболее протяженная) стала главной, а две другие – дополнительными. Преимущественно все три системы трещин, сосредоточенные в пределах условно выделенного породного участка, имеют разный возраст образования и залечены различными минералами. Однако направление главных и вспомогательных дислокаций не является одинаковым для всех прибортовых массивов четырех карьеров.

В процессе генетического развития рудной залежи трещины неоднократно возобновляют свое развитие, соединяются с другими сонаправленными трещинами и по окончании тектонического акта воздей-

*Исследования проведены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант НШ – 1258. 2003. 5.

ствия на массив залечиваются соответствующим породным минералом, который дренировал через массив в процессе его деформации на данной стадии процесса. В результате нескольких тектонических процессов на ряде трещин рудных месторождений обнаруживается несколько заполнителей разной прочности и состава. Наиболее ранние заполнители являются более прочными, так как они почти всегда проходят стадию высоко- или среднетемпературного метаморфизма вместе с основными породами массива. Последние по времени отложения заполнители трещин почти всегда являются слабыми. Это милонит, серицит, глина трения и т. д. Среди низкотемпературных заполнителей только кальцит является довольно прочным заполнителем трещин.

Отдельные участки массива с различными по ориентировке и заполнителю системами трещин ограничиваются крупными нарушениями, которые имеют различную ориентацию в пространстве месторождения. По отношению к углу падения сместителей они подразделяются на четыре крупных типа: сдвиги, сбросы, надвиги и шарьяжи. Почти всегда тип крупных тектонических структур определяет тектоническую структурную блокировку на соответствующем участке массива и в свое геологическое время был вызван соответствующим распределением тектонических напряжений в массиве. Структуры мелкого масштаба (трещины), сгруппированные в соответствующие зоны, отражают процессы дезинтеграции массива в период формирования крупных нарушений или являются вторичными после выделения крупных дизъюнктивов. Определение типа задающей тектонической структуры в прибортовом массиве помогает решать вопросы с систематизацией трещин участка массива, подлежащего взрыву.

Оценить параметры трещиноватости в прибортовом массиве легче всего на поверхности обнажения сразу же после эккавации отбитой горной массы до момента

разрушения поверхности уступа под действием гравитационных сил. Породная осыпь сильно препятствует такому способу изучения массива. Для выделения возраста генерации трещин или периода возобновления их роста требуется непосредственный доступ к трещине. При детальном изучении каждой из трещин можно выделить от 10 до 15 характеризующих ее параметров. В этом случае идентификация трещин будет полной. После этого можно говорить о характеристике систем трещин на соответствующем участке массива.

Без визуального распознавания трещин или их фрагментов суждение об интенсивности трещиноватости окажется субъективным, то есть речь может идти только об интегральной характеристике трещиноватости в массиве на качественном уровне при отнесении массива к слабо-, средне- или сильно трещиноватому. На основе этой характеристики уже можно провести дифференциацию массива по степени взрываемости, то есть относить массив к мелкоблочному, среднеблочному или крупноблочному. Здесь планка между отдельными участками может быть весьма размытой или условной. Избежать неоднозначности в оценке трещиноватости массива можно только при определении направленности трещин в прибортовом массиве, идентификации их в систему, после чего производится оценка интенсивности трещиноватости. Это может быть весьма кропотливой работой, которую под силу выполнить только квалифицированному специалисту. Методы оценки интегральной трещиноватости могут базироваться на изменении скоростных характеристик среды, электропроводности пород в массиве, изменении фильтрационных характеристик среды, недоступной для непосредственного наблюдения. Однако каждый из методов в отдельности не может решить задачи в той степени качества, какая требуется для выполнения паспорта буровзрывных работ.

Методических проработок для детальной оценки трещиноватости в мас-

сиве на недоступных для глаза участках, то есть за пределами небольшой области массива, прилегающей к поверхности уступа, пока не существует. Цель методических разработок, которую ставят перед собой авторы статьи, заключается в обнаружении минимума трех систем трещин в массиве накануне проведения буровзрывных работ, оценке интенсивности распространения каждой из систем трещин и определении прочностных характеристик массива на основе блока информации о трещиноватости, прочностных показателях пород и прочностных показателях заполнителей швов трещин. Для этой цели в особо сложных случаях может быть привлечена информация о напряженном состоянии массива в пределах взрывного блока.

Достижению этой цели способствует накопленный опыт по картированию трещиноватости в карьерном пространстве различных месторождений, а также использование информации о кинематических поверхностях трещин для оценки поля напряжений. Для нас также доступен материал, касающийся взаимосвязи между интенсивностью трещиноватости, прочностными характеристиками пород и заполнителей швов трещин, напряженным состоянием массива и его прочностью в естественном залегании.

Разработанная нами методика включает анализ визуального ряда, выполненного с помощью цифровой фотокамеры на нескольких горизонтах карьера, смежных с горизонтом расположения взрывного блока, рассмотрение крупных тектонических структур вблизи этого блока и определение кажущегося электрического сопротивления на нескольких глубинах прибортового массива на планируемом к взрыву участке по ряду профилей. В случае, когда взрывной блок уже обурен, детализируются условия фильтрации бурового раствора или поверхностной и глубинной воды в каждой из скважин и определяется ориентировка трещиноватости с помощью теле-

визионной аппаратуры для исследования скважин.

Согласно этой методике, изучение структурного строения прибортового участка массива применительно к взрывной выемке следует начинать с рассмотрения местоположения участка относительно рудной залежи и ориентировки максимальной компоненты напряжений в борту, также его расположения относительно крупных тектонических нарушений, включая пологопадающие швы дизъюнктивов. Если планируемый к взрыву участок расположен в вытянутой части борта вблизи тектонического шва вкрест действия главного максимального напряжения, то этот массив обладает не только высокой интенсивностью трещиноватости. В таких горно-геологических условиях основная система трещин может быть раскрытой с хорошей фильтрацией поверхностных и подземных вод. Если участок расположен на удалении от крупного тектонического нарушения, то интенсивность трещин основной системы уже не высока, и все трещины остаются залеченными и водонепроводящими. К тому же они могут находиться в зажатом состоянии, то есть прочность породного массива здесь превысит прочность самой породы или руды в образце.

Информация по деформационному поведению массива на планируемом к взрыву участке массива так же позволяет судить о его дезинтеграции, то есть о развитии междублочных подвижек по плоскостям трещин. Кроме непосредственных наблюдений за деформациями прибортового массива с помощью маркшейдерских методов измерения можно использовать и визуальные методы, отражающие качественный характер деформаций. Например, условиям разуплотнения массива по трещинам соответствует разнонаправленность перемещения отдельных маркшейдерских пунктов на соответствующем участке. Высокие фильтрационные способности массива от-

ражают те же процессы дезинтеграции массива за счет сдвиговых перемещений по системам ранее залеченных трещин.

Непосредственная оценка интенсивности трещиноватости массива осуществляется посредством электрометрических измерений по методу вертикального электрического зондирования, хотя все геофизические методы дают лишь качественную интегральную оценку или структуры или состояния породного массива. Для интерпретации результатов электрического зондирования относительно развитости и ориентировки систем трещин дают опытные наработки, сделанные в условиях массива с известным строением. Для этого способа не является помехой наличие готовых буровых скважин, однако вблизи измерительной линии нежелательно наличие работающего бурового станка и железнодорожного полотна. Еще одним условием ограничения в применении электрометрического способа измерения кажущегося сопротивления для оценки трещиноватости массива до глубины 15 м от дневной поверхности является необходимая ширина бермы менее 15–20 м для выполнения самих измерений.

При указанной ширине бермы могут быть выполнены измерения удельного электрического сопротивления по двум профилям, параллельным бровке уступа. Расстояние между пунктами установки приемных электродов должно быть не более 50 м. При высокой изменчивости среды расстояние между отдельными точками должно быть около 25 м. На практике расстояние между установочными пунктами выбирается в зависимости от характера блочности массива (мелкоблочный, среднеблочный или крупноблочный). К какому типу массива следует отнести массив, определяется визуально или по ряду фотографий обнажений соответствующего или смежного уступа или породного развала на смежном участке перед планируемым взрывом.

В каждой точке установки приемных электродов измерение осуществляется по трем направлениям:

- по главной профильной линии с установкой питающих электродов на удалении от центра 1,5; 2,5; 5; 9; 15; 25; 40; 70 м;
- по вспомогательным профильным линиям с установкой питающих электродов на расстоянии от центра 1,5; 2,5; 5; 9; 15 м.

Вспомогательные приемные линии располагаются по азимуту 45° от главной профильной линии.

Измерения проводятся геофизической электроизмерительной аппаратурой «Березка». При каждой установке приемных электродов контролируется ток питания на генераторе и потенциал на приемных электродах MN. Ток, подаваемый в массив, должен быть достаточно большим, как и показания индикатора на приемнике. При слабом токе в массиве применяется увлажнение питающих и приемных электродов. Расчетные коэффициенты при расчетах кажущегося удельного электрического сопротивления для соответствующей глубины измерений определяются в зависимости от разности питающих и приемных электродов.

Переход от интегральной кривой, связывающей интегральное электрическое сопротивление массива до заданных глубин, к поинтервальному значению удельных электрических сопротивлений осуществляется несколькими способами. Самый простой способ оценки электрических свойств пород на соответствующей глубине заключается в применении палеток А.М.Пылаева. По виду кривой вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) выбирается соответствующий тип палетки, а уже затем находится глубина залегания слоя, его удельное электрическое сопротивление.

После выделения слоев с различными электрическими свойствами следует переходить к оценке трещиноватости мас-

сива в каждом отдельном породном слое. Для того каждый раз сопротивление слоя сравнивается с эталоном, которым, в одном случае, служит нетрещиноватый массив, в другом случае, – слабодислоцированный массив с минеральным заполнением трещин, в третьем случае, – сильнодислоцированный массив с открытыми трещинами, частично заполненными минеральным раствором. Когда все три перечисленных варианта состояния массива имеют различающиеся своим пороговым уровнем удельные электрические сопротивления, то несложно определить и состояние массива: сплошной без трещин массив, слаботрещиноватый массив и сильнотрещиноватый массив с раскрытием трещин.

В реальных условиях обязательно встречаются и другие варианты состояния массива: слабодислоцированный массив с замкнутой системой трещин, сильнотрещиноватый массив с замкнутой системой трещин или тектонически расслоенный массив с прочным заполнением трещин. Для пироксенитового массива Гусевогорского месторождения все три указанные пороговые уровни электрического сопротивления пород различаются между собой. Так, слаботрещиноватые породы с минерализованным заполнителем трещин имеют диапазон удельных электрических сопротивлений от 500 до 1000 Ом/м в зависимости от степени трещиноватости и процентного содержания магнетита в виде прожилков соответствующей направленности. Сильнотрещиноватые породы с раскрытием трещин имеют удельное электрическое сопротивление в пределах 2000-4000 Ом/м, а нетрещиноватый (крупноблочный) пироксенитовый массив обладает удельным сопротивлением свыше 4000 Ом/м.

Переход от удельных значений электрического сопротивления соответствующей области массива к ее неэлектрическим параметрам (интенсивность и ориентировка трещин, а также их со-

стояние в плане раскрываемости и заполнения минерализованными водами) – довольно щепетильная операция. Она требует анализа и сопоставления между собой всех возможных вариантов строения массива. При этом следует учесть значение удельных электрических сопротивлений породных слоев по глубине в точке измерения и по латерали в соседних точках измерения. При недостатке информации может возникнуть многовариантность при переходе от значения электрического сопротивления (ρ) к интенсивности трещиноватости. Особенно этот момент характерен при альтернативных по состоянию массивах – крупноблочный массив или мелкоблочный массив с раскрытыми трещинами.

Сделать правильный выбор в оценке степени трещиноватости массива помогают фотографии данного участка массива и результаты измерений на вспомогательных профилях. Если при измерениях обнаруживается, что значения тока в массиве и кажущиеся электрические сопротивления одинаковы во всех трех направлениях профилирования в соответствующей точке измерения, то измеряемый массив крупноблочный. Если текущие токи различаются между собой, как различаются и кажущиеся сопротивления ρ , то массив является мелкоблочным с раскрытием соответствующей системы трещин. Ориентировка системы трещин соответствует направлению минимального кажущегося сопротивления.

Методически сложным процессом является выявление субгоризонтальных систем трещин и оценка их интенсивности. Обычно это трещины тектонического расслоения, и они находятся в состоянии хорошей проводимости из-за повышенной увлажненности. Чаще всего это границы отдельных проводящих и непроводящих слоев. Определить интенсивность слабонаклонных или шарьяжных трещин в проводящем слое можно тремя способами. Во-первых, это можно сделать с помощью телевизионной аппа-

ратуры для исследования скважин, во-вторых, интенсивность горизонтальных трещин легко оценивается по кусковатости взорванной массы на соседнем участке, так как легко распознать эту систему по качеству и количеству заполнителей швов. В-третьих оценить интенсивность таких трещин можно по значению удельного электрического сопротивления в этом интервале по отношению к среднему удельному сопротивлению слоя вблизи поверхности обнажения, то есть вблизи устья скважины.

Приведем пример выявления интенсивности трещиноватости и ориентировки систем трещин в массиве южного борта Южной залежи. Уровень верхней отметки взрывного блока составляет 265 м. Массив этого борта тектонически расслоен. Интенсивность расслоения массива довольно высокая, хотя отдельные протяженные слои (в пределах нескольких метров) расчленены очень слабо, интенсивность трещин здесь не выше 0,5-1 шт./м. Вблизи участка при геолого-разведочных работах не обнаружено ни одного крупного тектонического нарушения, хотя дислоцированность массива свидетельствует о наличии тектонических зон на небольшом удалении от этой области массива.

Измерения кажущегося электрического сопротивления были сделаны в трех точках взрывного блока, расположенных на удалении 45-50 м друг от друга. Дополнительные профили были выполнены на всех указанных точках. Измерения ρ выявили, что в структурном плане все области массива имеют одинаковое строение. До глубины 2,5-4 м интенсивность трещиноватости невысокая, то есть массив является по своей структуре среднеблочным. Интенсивность субвертикальных трещин лежит в пределах от 1 до 3 тр/м. Трещины разуплотнены, основное их направление субмеридиональное. Субгоризонтальных трещин на указанном интервале глубин находится незначительное количество.

Ниже этого среднеблочного массива залегает совсем другой массив с повышенной интенсивностью трещин всех трех направлений. Максимальная интенсивность трещин каждого из направлений (субмеридиональных и субгоризонтальных) достигает 4-5 шт./м. Все эти трещины находятся в сомкнутом состоянии и минерализованы раствором с низким удельным сопротивлением.

Другим примером районирования массива относительно трещиноватости является уже отбуренный взрывной блок на Главном карьере. Районирование было выполнено с использованием уровня воды в буровых скважинах. Благодаря такой информации об уровне воды в буровых скважинах оценка трещиноватости массива является более объективной, хотя массив взрывного блока является более сложно устроенным, чем рассмотренный ранее взрывной блок.

Этот блок расположен в потенциально оползневой зоне прибортового массива и отличается очень сложным строением. В строении массива преобладают тектонические зоны сдвигаемого и шарьяжного характера с включением надвиговых зон. Зоны сдвига представлены субмеридиональными и субширотными трещинами, шарьяжные зоны – субгоризонтальными трещинами. В указанном прибортовом массиве установлен современный тектонический режим, следствием которого является раскрытие одних трещин и закрытие других, то есть этот массив состоит из участков уплотнений и разуплотнений.

Электрометрические наблюдения в блоке выполнены по 10 профилям. Удаленность центров установки приемных электродов друг от друга составляет около 25 м. Такая удаленность является оптимальной и позволяет рассматривать области независимо друг от друга. Длинные электрометрические профили выполнялись почти параллельно бровке уступа, короткие профили – под углом 40–45° к длинным. В месте расположе-

ния скважины 114 электрометрические наблюдения выявили следующее:

1. До глубины 5 м общее сопротивление слоев электрическому току по трем профилям составило 8,47 кОм, 7,5 кОм и 4,21 кОм. Соотношение между максимальным сопротивлением и минимальным сопротивлением за счет раскрытия трещин на этом интервале составило 2.

2. Сопротивление току в массиве в интервале глуби 5 – 10 м по разным профилям (соответственно с теми же направлениями зондирования) было 7,47 кОм, 4,75 кОм и 3,05 кОм. То есть за счет раскрытия трещиноватости субширотной ориентации электрическое сопротивление изменилось в 2,45 раза.

В области массива, включающей одну из скважин, было получено, что до глубины 5 м за счет раскрытия субширотных трещин сопротивление электрическому току в субмеридиональном направлении профиля было в 1,6 раза больше, чем при субширотной ориентровке ВЭЗа. Измерение электрического сопротивления на участке с центром вблизи другой скважины показало альтернативный результат. Так, коэффициент изменения электропроводности пород в зависимости от ориентровки профиля дал значение близкое к единице, то есть здесь породы находятся в условиях всестороннего сжатия при высокой трещиноватости массива (2–3 шт/м). То есть по результатам измерений в пределах этого блока на всех трех участках массив по глубине является мелкоблочным с включениями среднеблочного. Далее, на северо-восток и восток массив за счет снижения интенсивности трещин до 1–2 шт/м становится среднеблочным, и раскрытия трещин за счет горного давления почти не происходит.

Оценка интенсивности трещиноватости электрометрическим способом хорошо согласуется с уровнем воды в скважинах. Так, при закрытых швах субмеридиональных трещин и открытых субширотных трещинах уровень воды от

дневной поверхности резко увеличивается в направлении откоса и остается примерно одинаковым вдоль откоса уступа. На восточном фланге взрывного блока небольшое раскрытие субширотных трещин привело к обезвоживанию буровзрывных скважин.

Массив, отнесенный к взрывному блоку 1418, является более простым по структурному строению, чем описанный выше блок 2812. Этот блок расположен в северо-восточной части Северного карьера на гор. 265 м. Он также является тектонически структурирован, однако он включен в надвиговую зону месторождения, поэтому ориентировка систем трещин здесь совсем не повторяет ситуации в блоке 2812. Ослабляющие массив трещины преимущественно ориентированы субширотно, но имеют не крутое, а наклонное падение на юг. Интенсивных тектонических подвижек пока массив северного борта Северного карьера не претерпел, поэтому швы трещин находятся в залеченном состоянии.

Основное рудное пространство занимают пироксенитовые породы со средней интенсивностью трещиноватости (2–3 шт/м). И только в периферийной части взрывного блока трещиноватость пород более высокая, а швы трещин являются раскрытыми от сейсмического воздействия предыдущих взрывов на горизонте. Трещины других направлений в этом блоке развиты очень слабо, на эмбриональном уровне. За счет сомкнутости берегов трещин вода в скважинах находится на довольно высоком уровне. Увлажненность массива при соответствующей трещиноватости с содержанием полезного компонента дает невысокие значения кажущегося электрического сопротивления во всех направлениях электрозондирования.

Обширный по площади взрывной блок в пределах гор. 235 м на северном борту Северного карьера изучался до буровых работ в блоке. Визуально и с помощью фотоснимков было отмечено,

что в пределах взрывного блока залегает мелкоблочный массив с включениями среднеблочного и крупноблочного. Интенсивность трещин в пределах мелкоблочного массива составляет 4 – 5 шт/м, интенсивность трещин в среднеблочном массиве – 2-3 шт/м и интенсивность трещин в крупноблочном массиве - 0,5–1 шт/м. На участке было выполнено 13 основных профилей и 26 вспомогательных профилей. Электрометрические наблюдения показали, что среднеблочный массив залегает на ряде участков (преимущественно на юго востоке взрывного блока) только до глубины 4–5 м, ниже преимущественно располагается мелкоблочный массив. Современные тектонические процессы еще не значительно затронули структуру массива, поэтому трещины находятся в сомкнутом состоя-

нии. Ориентировка трещин преимущественно субширотная и субмеридиональная, а также пологопадающая.

Таким образом, представленная вниманию читателей методика дифференциальной оценки трещиноватости в прибортовом массиве для последующего составления паспорта буровзрывных работ позволяет дифференцировать массивы не только по их структуре но и состоянию на момент выполнения запланированной технологической операции. Трех профилное зондирование в каждой из точек массива с привлечением информации по тектонике массива и гидрогеологическим данным позволяет оценить интенсивность трещиноватости в каждой из выделенных систем и состояние трещин в каждой системе.

Коротко об авторах

Яковлев А.В., Симицын В.А., Ермаков Н.И. – ИГД УрО РАН.



© А.С. Федянин, 2005

УДК 622.271.333 (622.831.1)

А.С. Федянин

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ ГЛУБОКОГО КАРЬЕРА НА ОСНОВЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Семинар № 3

Развитие открытых горных работ в Республике Узбекистан связано с освоением месторождений со сложными горно-геологическими условиями, значи-

тельным увеличением глубины карьеров, в перспективе достигающей 700 м и более. В этой связи строительство глубоких карьеров влечет за собой необходимость

оценки текущего состояния приконтурного массива с целью выбора рациональных конструктивных параметров уступов и бортов. Прогноз устойчивости подработанных пород, базирующийся на аналитических методах расчетов с использованием результатов маркшейдерских наблюдений, фиксирующих поздние стадии развития деформации, не позволяет исследовать процессы, предшествующие ее развитию в массиве горных пород. Поэтому параметры карьеров, определенные на основе такого прогноза, не могут иметь рациональных значений. Для повышения достоверности прогноза и определения рациональных параметров бортов карьера могут быть применены геофизические методы исследований, позволяющие изучать изменение геомеханических характеристик горного массива на ранней стадии развития деформационных процессов. Однако использование результатов таких исследований для выбора рациональных параметров карьера не имеет методологической основы. Таким образом, разработка методики обоснования рациональных параметров бортов глубокого карьера на основе геофизических методов исследований состояния прибортового массива, позволяющих повысить достоверность определения его долговременной устойчивости имеет особое значение для глубокого

карьера Мурунтау, находящегося в сложных горно-геологических и сейсмически опасных условиях Центральных Кызыл-Кумов.

Опыт разработки месторождений в сложных горно-геологических условиях показывает, что на крупных карьерах со временем начинают развиваться деформационные процессы, нарушающие нормальную эксплуатацию карьеров, создающие аварийные ситуации, приводя к снижению экономических показателей работы. Данная ситуация обуславливает необходимость совершенствования технологических схем формирования бортов карьеров, разработки рациональных конструкций нерабочих бортов, обеспечивающих их долговременную устойчивость. Предложенные методы геотехнических расчетов не учитывают всего многообразия горно-геологических и геодинамических условий глубоких рудных карьеров и требуют усовершенствования с использованием новых информационных технологий, позволяющих конкретизировать параметры уступов и бортов карьеров применительно к реальным условиям.

В связи с этим, на карьере Мурунтау был разработан комплексный подход к расчету рациональных параметров открытых горных выработок, позволяющий обеспечить долговременную устойчивость бортов и базирующийся на информации о реальном состоянии массива горных пород.

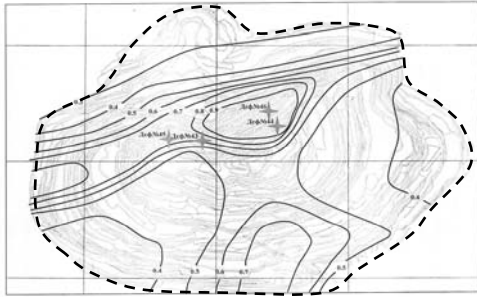
Рис. 1. Схема прогноза состояния откосов бортов карьера



Карьером Мурунтау разрабатывается золоторудное гидротермальное месторождение, характеризующееся наличием в скальных массивах мощных тектонических нарушений, а также участков, сложенных слоистыми углеродисто-сланцевыми сланцами, что существенно ослабляет прибортовой массив. Породы, слагающие борта, обладают широким диапазоном изменения прочностных характеристик, их сцепление меняется в пределах от 0,01 до 25 МПа, угол внутреннего трения – от 15°

до 38-42°. Породный массив имеет тенденцию к росту прочности по мере увеличения глубины и характеризуется неправильными контурами и сложной формой рудных тел; сложным строением вмещающих пород; перемежаемостью руд и пород между собой; распространением рудных тел с промышленным содержанием золота до глубины более 1000 м.

Для данных условий на основании детального анализа геологической ситуации и геомеханических условий месторожде-



ния предложена методология и схема разработки прогноза состояния откосов бортов карьера в системе «район месторождения – карьерное поле – борт карьера» (рис. 1), которая позволяет на основании анализа условий разработки месторождения, исследований методами электрометрии и сейсмометрии построить математическую модель и определить рациональные параметры бортов карьера.

Главным в прогнозировании деформаций на конкретном участке месторождения является слежение за изменением геомеханической ситуации в нем во времени, с помощью геофизических методов исследований, с учетом геодинамического воздействия региональной тектоники, имеющей на порядок большую, по сравнению с техногенным, интенсивность воздействия и оказывающей на деформации решающее значение.

На основании проведенных исследований, в системе «район месторождения – карьерное поле - борт карьера», построена геодинамическая модель карьера в виде прогнозной карты развития деформаций бортов карьера до 2010 г., которая показала высокую достоверность составленного прогноза и подтверждена, достаточной для инженерных расчетов, сходимостью с фактическими данными о развитии деформационных процессов на карьере Мурунтау за период с 2001 по 2004 гг. (рис. 2).

На основании проведенных исследований проведено районирование карьерного поля, с оконтуриванием трех типов участков, характеризующихся различной степе-

Рис. 2. Прогнозная карта деформирования бортов карьера Мурунтау до 2010 г.:

0.3 – изолинии коэффициента вероятности; деф.№46 – номер деформации за период с 2000 по 2004 г.; ---- - контур карьера

нью устойчивости, что позволило обеспечить надежное прогнозирование развития деформационных процессов, а так же своевременное принятие дополнительных мер для поддержания необходимого уровня безопасности горных работ.

Согласно разработанной схеме прогноза состояния бортов карьера, дальнейшие наблюдения за деформационными процессами проводятся с применением комплексной методики геофизических исследований базирующейся на наличии связей между величинами удельного электрического сопротивления, скоростей, коэффициентов поглощения упругих волн и состоянием деформирующегося массива.

Применение методов сейсмометрии, основанных на измерении сейсмоколебаний горных пород под воздействием массовых взрывов, эффективно для оценки устойчивости прибортового массива. Наблюдения методом спектрального анализа сейсмических волн проводились по специально разработанной методике с использованием аппаратуры типа СМ-ЗКВ в регистрации данных на магнитограф типа НК-30Е в комплексе с монитором калибратором МП-41 и переносным компьютером оснащенным 12 разрядным цифровым преобразователем.

В качестве базового критерия, характеризующего сейсмическое воздействие на элементы карьера Мурунтау, был принят спектральный уровень (спектральная плотность излучения) горизонтальных колебаний горных пород на частоте основного тона собственных колебаний бортов карьера. Регистрация колебаний проводилась на специально оборудованных станциях непрерывно на стадиях подготовки взрывов, в момент проведения взрывов и после их проведения до выхода колебаний на параметры, близкие к исходным (сейсмошум).

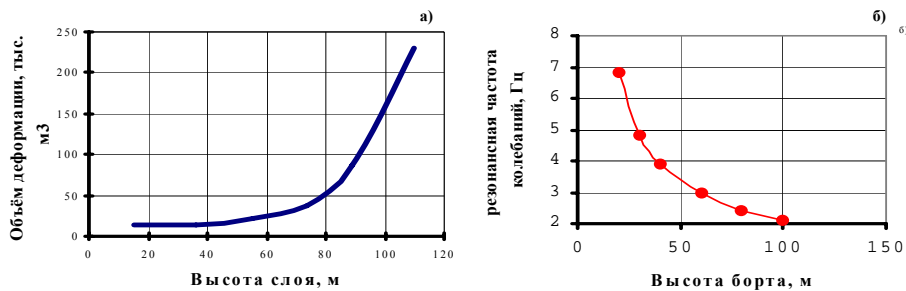


Рис. 3. Взаимосвязи прогнозируемых объемов деформаций бортов карьера Мурунтау с высотой деформируемого слоя (а) и резонансной частоты колебаний от высоты борта карьера (б)

В результате проведенных исследований получены взаимосвязи прогнозируемых объемов деформаций бортов карьера Мурунтау с высотой деформируемого слоя при массовых взрывах (рис. 3, а), описываемое соответственно выражением: $V_{в} = 3,9 e^{0,04H}$ где $V_{в}$, – объем прогнозируемых деформаций при массовых взрывах и землетрясениях, тыс. м³; H – высота деформируемого слоя пород, м.

Также эмпирически получены зависимости резонансной частоты колебаний от высоты борта карьера (рис. 3, б).

Выполненные исследования показали целесообразность использования сейсмических методов для выявления неустойчивых участков на основе анализа спектров колебаний массивов горных пород при ес-

тественных и техногенных землетрясениях.

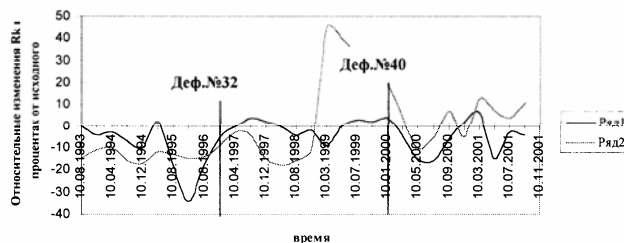
Наблюдения методом ВЭЗ на бортах карьера проводятся по разработанной методике на стационарных станциях. Стационарные наблюдения позволили минимизировать влияние внешних факторов, а длительные режимные наблюдения создали условия для использования аппарата математической статистики, что в значительной степени повышает достоверность построения динамической модели изучаемого участка.

В результате наблюдений установлено, что на участках примыкающих к зоне вероятного будущего деформирования (в пределах первых сотен метров) изменение сопротивления накануне его возникновения достигает 30÷40 %. При сохранении целостности приконтурного

массива, на котором заложена станция, после разгрузки массива и реализации деформации значение кажущегося сопротивления пород стремится к исходному (рис. 4).

Рис. 4. Типовые графики изменения кажущегося сопротивления пород во времени на стационарной станции ВЭЗ:

Ряд 1 – для глубин 56 м; ряд 2 – для глубин 100 м



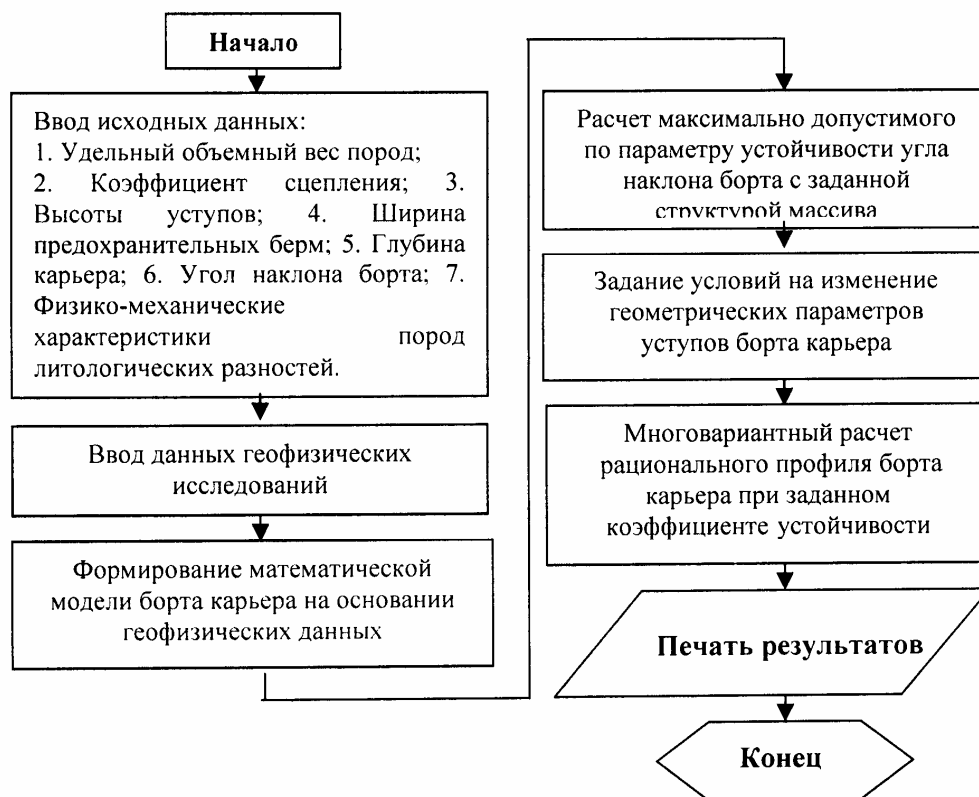


Рис. 5. Укрупненная блок-схема алгоритма расчета рациональных параметров бортов карьера

Следовательно, вариации линий регрессии кажущегося сопротивления пород (ρ_k) исследуемого массива отражают не только структурную неоднородность массива как слоев с различной электропроводностью, но и перераспределение внутренних напряжений в массиве во времени с учетом реальной геологической структуры.

Существующая четкая корреляция значений между кажущимся сопротивлением, структурой и напряженно-деформированным состоянием горных пород, позволяет использовать методы электротометрии для определения динамики напряженно-деформированного состояния прибортового массива до проявления видимых нарушений.

Таким образом, по результатам выполненных исследований с достаточной для инженерных расчетов точностью удалось

Рис. 6. Схема к расчету устойчивости борта с использованием структурных особенностей массива по данным геофизических наблюдений:

1 – зоны разломов; 2 – зоны трещиноватых пород и структурных неоднородностей; 3 – рациональный профиль борта; 4 – существующий профиль борта

зарегистрировать начальную (скрытую) стадию деформационных процессов, что доказывает возможность обеспечения оперативного контроля за состоянием устойчивости уступов и бортов карьера методами электрометрии.

Реализованная методика в комплексе с данными результатов геофизического исследования скважин так же эффективно используется для подтверждения геологической ситуации и выявления структурных неоднородностей прибортового массива, определения границ структурных блоков и поверхностей скольжения.

Результаты комплекса геофизических методов исследований являются базовыми для построения математической модели, на основании которой осуществляется выбор рациональных параметров борта. Расчет рационального профиля борта карьера проводится на основании фактического инженерно-геологического разреза, подтвержденного данными геофизических исследований.

На базе разработанной математической модели составлен алгоритм расчета рациональных параметров бортов карьера (рис. 5), на основании которого был создан пакет компьютерных программ, отличающиеся от принятых типовых схем тем, что математическая модель борта карьера формируется на основании геофизических данных. А коэффициент устойчивости оп-

ределяется с учетом структуры расчетного профиля.

При этом одновременно учитываются следующие факторы: минимизируется объем вскрыши, уступы вписываются в заданный результирующий угол карьера, для каждого уступа учитываются ограничения по ширине бермы и угла наклона. Учитывается коэффициент устойчивости каждого уступа и борта в целом.

Для решения задачи оптимизации определяется контур борта карьера заданной глубины, для которой обеспечивается одновременное выполнение условий минимума целевой функции оптимизации, связанной с объемом выработанного пространства, при сохранении требуемых параметров устойчивости горного массива с заданными прочностными характеристиками по потенциальной поверхности скольжения.

$$S_i = \frac{H^2}{\operatorname{tg} \alpha} - \left\{ \sum_{i=1}^{k-1} \left[b_i \cdot h_i + \frac{h_i^2}{\operatorname{tg} \varphi_i} \cdot \left(i - \frac{1}{2} \right) \right] + \frac{h^2 (2k-1)}{2 \operatorname{tg} \varphi_k} \right\}$$

$$S_i \rightarrow \min; i = \overline{1, k}$$

где S_i – площадь выработанного пространства; α – результирующий угол борта карьера; H – высота борта карьера; k – число уступов; h – заданная высота уступа, причем $k \cdot h = H$; b_i – ширина i -й бермы; φ_i – угол i -го уступа.

Расчеты устойчивости бортов, проведенные с учетом увеличения глубины карьера до глубины 750 м, показали, что площадь вскрыши по оптимизированному профилю на 5-7 % меньше по сравнению с расчетами проектных институтов (рис. 6).

Корректировка генеральных углов наклона бортов в сторону увеличения внедрена в практику разработки карьера 3 очереди и учтена в 4 очереди развития карьера.

бот, увеличения результирующих углов откосов и повышения долговременной устойчивости бортов карьера.

Коротко об авторах

Федянин А.С. – геофизик Центрального рудоуправления НГМК.

© **В.А. Асанов, И.Л. Паньков, И.В. Гурко, 2005**

УДК 622.02:531

В.А. Асанов, И.Л. Паньков, И.В. Гурко

ХРУПКОЕ РАЗРУШЕНИЕ СОЛЯНЫХ ПОРОД

Семинар № 3

Динамическое разрушение приконтурной части подработанного массива является достаточно распространенным в горной практике [1, 2]. Реализация такой формы проявления горного давления отмечается на многих угольных и рудных месторождениях мира, разрабатываемых породы, характеризующиеся повышенной хрупкостью. Значительно реже горные удары происходят в квазипластичных горных породах. Здесь следует выделить калийные месторождения Германии, где неоднократно имели место динамические разрушения целиков [3].

В последнее время, в связи с интенсивной отработкой месторождений полезных ископаемых, на рудниках, ведущих горные работы в породах, которые традиционно считались неудароопасными, стали регистрироваться динамические формы проявления горного давления. Наиболее показательное в этом отношении событие произошло в январе 1995 года на участке I-й и II-й северо-восточных панелей Второго

Соликамского калийного рудоуправления (СКРУ-2) ОАО “Сильвинит”, ведущего разработку запасов Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС). В результате внезапного массового разрушения целиков произошло обрушение кровли над отработываемыми пластами пород объемом более $3 \cdot 10^6$ м³. Площадь разрушения составила 0,3 км². На поверхности мгновенно сформировалась мульда оседания глубиной до 4,5 метров. Сейсмическими станциями данное событие было зарегистрировано как землетрясение с магнитудой М-3,8. В районе аварии вынимались два (частично три) сильвинитовых пласта камерной системой разработки. Ширина камер составляла 14–16 м, при высоте на пласте АБ – 4 м, на КрII – 6 м. Глубина залегания пластов изменялась с запада на восток от 250 до 350 м. Только по счастливому стечению обстоятельств обошлось без человеческих жертв, разрушений объектов в районе городской застройки, а также не был затоплен калий-

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 04-05-96031) и Интеграционного проекта УрО РАН № 05-11-04.

Коэффициенты хрупкости соляных пород

Тип породы, пласт	Коэффициенты хрупкости			
	$K_1 = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_p}$	$K_2 = \frac{M}{E}$	$K_3 = \frac{P_y}{P_y + P_{пл} + P_3}$	$K_4 = \frac{P_y}{P_{пл}}$
Каменная соль	0,26	0,39	0,28	0,24
Сильвинит красный, пл. Кр. II	0,27	0,18	0,15	0,37
Сильвинит полосч., пл. А	0,28	0,14	0,12	0,40
Сильвинит пестрый, пл. Б	0,29	0,20	0,17	0,40
Карналлит, пл. В	0,43	0,54	0,35	0,76
Критические значения	0,7	1,0	0,5	1,0
Удароопасные породы [4]				
Песчаник ВО	0,85	15,3	0,97	-
Гранит	0,82	3,36	0,77	-
Плагиогранит	0,96	13,3	0,93	-
Диабаз	0,84	19,7	0,95	-

где ε_y - упругая деформация на пределе прочности; ε_p - полная деформация, соответствующая пределу прочности; E - модуль упругости, определяемый по разгрузочной ветви на допредельном участке диаграммы нагружения; M - модуль спада, определяемый по запредельной ветви диаграммы; P_y - величина работы упругой деформации на пределе прочности; P_3 - величина работы за пределом прочности; $P_{пл}$ - величина работы неупругих деформаций.

ный рудник, имеющий многомиллиардную стоимость.

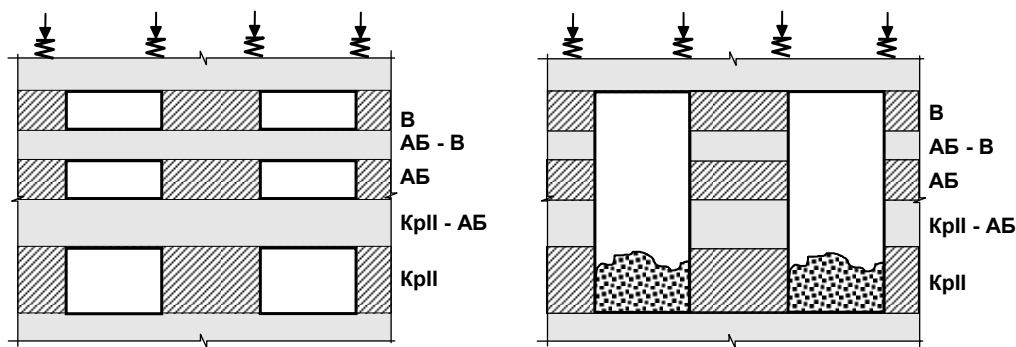
До этого времени вопрос о хрупком разрушении соляных пород для условий ВКМКС фактически не поднимался, что было обусловлено общепринятым мнением об их пластичной природе. Непосредственно после аварии было проведено изучение возможности хрупкого разрушения соляных пород ВКМКС. Для оценки потенциальной удароопасности использовался комплекс деформационных и энергетических критериев, в соответствии с которыми порода считается склонной к динамическому разрушению при превышении расчетных показателей хрупкости над критическими значениями [4, 5].

Для определения удароопасности соляных пород проведены испытания образцов соляных пород на сжатие с построением полной диаграммы деформирования, которые осуществлялись при стандартных условиях нагружения (скорость деформирования – 1,0 мм/мин, отношение высоты

(h) образца к ширине (a) $h/d = 2,0$). Результаты испытаний приведены в табл. Для сопоставления здесь же, приведены коэффициенты хрупкости некоторых удароопасных пород рудных месторождений Урала [5].

Анализ результатов показал, что основные разновидности соляных пород ВКМКС не являются удароопасными. Их показатели хрупкости не достигают критических значений. Сильвинит и каменная соль имеют ярко выраженный пластический характер деформирования. Согласно сравнительной оценке из всех представленных разновидностей соляных пород наиболее склонной к хрупкому разрушению является карналлит.

Анализ экспериментальных данных, не позволил однозначно выявить факторы, определяющие условия реализации хрупкого разрушения квазипластичных соляных пород. Было высказано предположение [6], что динамическое разрушение соляных целиков может быть обусловлено разрушением междупластий, ведущих к формированию высоких междукамерных



целиков (рис. 1), которые имеют пониженную несущую способность и энергоемкость запредельного деформирования. Это определило необходимость изучения совместного деформирования системы целиков при многопластовой отработке и вмещающих пород, обуславливающих мягкий режим нагружения.

Рис. 2. Изменение уровня нагрузки перехода к хрупкому разрушению образцов сильвинита в зависимости от жесткости нагружающего устройства: а) 0,25 ГПа; б) 1,0 ГПа; в) 4,0 ГПа; О – точка хрупкого разрушения

Рис. 1. Схема формирования высоких междукамерных целиков, при отработке свиты пластов, вследствие обрушения междупластий АБ-В и КрII-АБ

целиков выполнено на образцах соляных пород с соотношением их размеров, соответствующих горнотехническим условиям в районе аварии. Исследованные образцы (каменная соль, пестрый сильвинит, карналлит) представляли собой прямоугольные призмы с одинаковой площадью основания и различным отношением высоты

к ширине: для сильвинита и каменной соли – 1,1; 1,5; 2,8; для карналлита – 1,1; 1,5. Эксперименты проводились при различной жесткости нагружающего устройства [6], что позволяло варьировать величину упругой энергии, запасенной в нагружающей системе. Регистрация результатов испытаний в координатах “напряжение – деформация” велась в автоматическом режиме на персональный компьютер, что позволяло отслеживать все стадии деформирования образца во времени, в том числе, и стадию динамического разрушения.

Анализ полученных диаграмм показал, что допредельная ветвь кривой деформирования не зависит от жесткости нагружающей системы. На ниспадающей ветви диаграммы деформирования можно выделить два участка: стадию устойчивого запредельного деформирования и стадию хрупкого разрушения [7]. Момент перехода на стадию хрупкого разрушения, фиксировался по резкому возрастанию скорости спада нагрузки. Деформирование приобрело неконтролируемый характер, сопровождалось звуковым эффектом, напоминающим удар и разлетом

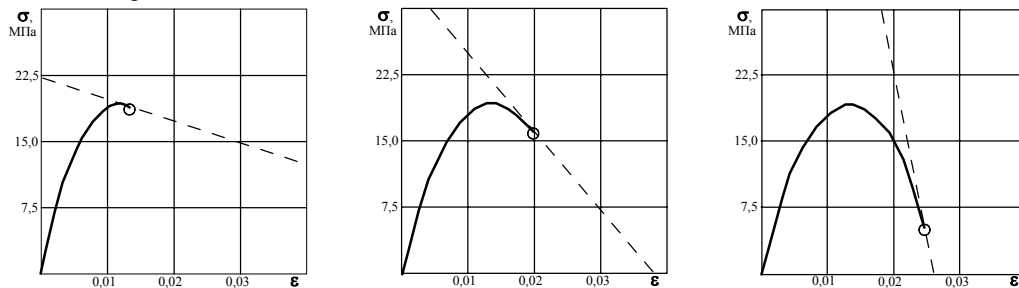


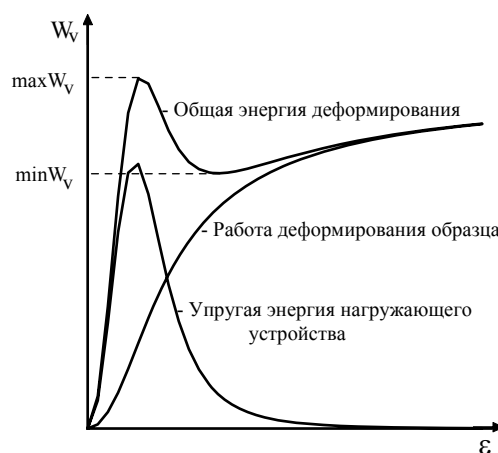
Рис. 3. Изменение общей энергии, при совместном деформировании системы “образец – нагружающее устройство”

частей. Время, за которое происходило хрупкое разрушения образца, составляло несколько десятков миллисекунды. Завершение стадии хрупкого разрушения фиксировалось по уменьшению скорости деформирования. Установлено, что переход на стадию хрупкого разрушения происходит не только на пике прочности, но может иметь место в любой точке запредельной ветви диаграммы деформирования (рис. 2), что определяется балансом энергии системы “образец – нагружающее устройство”.

Эти исследования показали, что хотя в целом соляные породы не относятся к разряду хрупких, сложная подземная конструкция, созданная в результате выемки запасов камерной системой разработки, в ряде случаев может быть удароопасной.

Для изучения условий хрупкого разрушения, наряду с диаграммой деформирования, рассматривались зависимости, отражающие изменение упругой энергии, накапливаемой нагружающим устройством и работы по деформированию образца [7]. Установлено, что условием начала хрупкого разрушения являлся “переход” через локальный максимум общей энергии ($\max W$), затраченной на деформирование образца и нагружающего устройства. В результате реализации избытка упругой энергии, идущей на образование дополнительных поверхностей разрушения и разлет частиц образца, формируется локальный минимум общей энергии ($\min W$), являющийся условием завершения стадии хрупкого разрушения (рис. 3).

После испытания разрушенный материал подвергался гранулометрическому анализу, который проводился ситовым методом (набор стандартных сит с отверстиями: 10; 7; 5; 2; 0,7; 0,3 мм). Оценка степени разрушения образцов производилась путем



подсчета суммарной площади боковых поверхностей образованных частиц. Для ее вычисления принималась гипотеза кубического строения образующихся частиц. В этом случае, суммарная площадь поверхностей, образованных при разрушении образца и отнесенная к его объему (удельная площадь) вычислялась по формуле:

$$S_v \approx \frac{6}{V} \cdot \sum_{i=1}^N \left[\frac{1}{a_i} \frac{m_i}{\rho} - \left(\frac{m_i}{\rho} \right)^{\frac{2}{3}} \right],$$

где V - первоначальный объем образца, N - количество фракций, m_i - масса одной фракции, a_i - осредненный размер частицы во фракции, ρ - плотность материала.

На рис. 4 представлены результаты по оценке изменения суммарной удельной площади образующихся поверхностей от величины общей удельной энергии, затраченной на деформирование нагружающего устройства и образцов каменной соли и карналлита различной высоты. Установлено, что для образцов каменной соли (рис. 4, а) и карналлита (рис. 4, б) увеличение общей энергии в 2 раза приводит к росту поверхностей в 2,5 раза, а увеличение энергии в 10 раз приводит к росту поверхностей только в 4,5-6 раз. Таким образом, при высоком уровне энергии (динамическое разрушение) основная ее часть будет расходоваться на увеличение скоро-

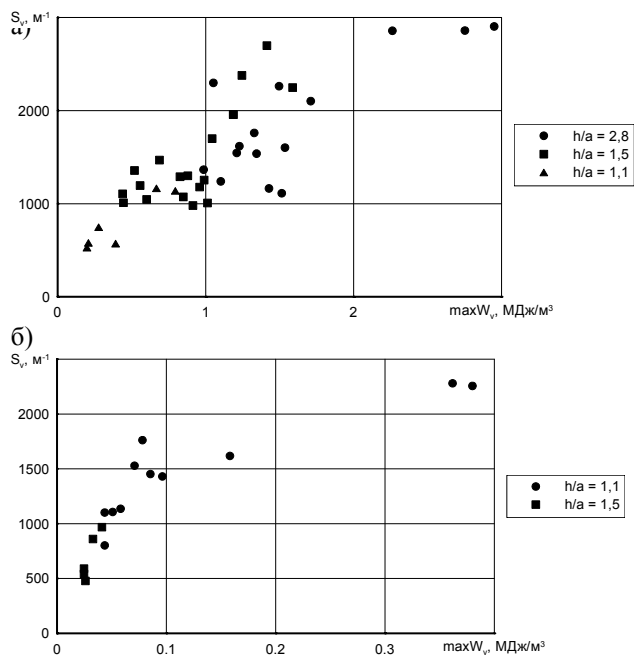


Рис.4 Зависимость изменения удельной площади образующихся частиц от величины общей удельной энергии, затраченной на разрушение образцов: а) каменная соль; б) карналлит

сти разлета частиц. В то же время, при низком уровне энергии основная ее часть будет идти на образование дополнительных свободных поверхностей. Так при обследовании периферийной части зоны массового обрушения пород отмечено разрушение со значительным измельчением вмещающих пород кровли на высоту 10-15 м. Это объясняет, почему при отсутствии специальной аппаратуры (до аварии

на СКРУ-2 в январе 1995 года) в условиях ВКМКС не удавалось фиксировать событий, связанных с хрупким разрушением, имеющим, по всей видимости, низкую интенсивность, когда основная часть упругой энергии вмещающих пород расходовалась на образование новых поверхностей. Возможность реализации низкоинтенсивного характера хрупкого разрушения соляных пород ВКМКС подтверждается тем фактом, что система мониторинга, развернутая на рудниках ОАО “Сильвинит” сразу после аварии на СКРУ-2, позволила зафиксировать с 1995 г. по 2003 г. около 4,7 тысяч микросейсмических процессов, происходящих на подработанных территориях, с энергией от нескольких десятков до 100 кДж [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bieniawski Z.T. Strata control in mineral engineering. Rotterdam, Balkema, 1987.
2. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983.
3. Ahoner L. Seismologische Untersuchung des Gebirgsschlages am 13. März 1989 bei Volkershausen (DDR) im Kalibergbaugebiet an der Werra. Kali und Steinsalz, № 10, 1989.
4. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. - М.: Недра, 1985, 273 с.
5. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, склонных к горным ударам. – Л.: ВНИМИ, 1980.
6. Baryakh A., Asanov V., Ghegin A., Toksarov V., Pankov I. Dinamic failure of salt interchamber pillars.// 24st Winter School of Rock Mechanics, Wrocław, 2001, 5-13 pp.
7. Паньков И.Л., Аникин В.В. Изучение особенностей запредельного деформирования соляных пород в условиях “псевдожесткого” режима нагружения.// Горный информационно-аналитический бюллетень, 2003 №9. - С. 56-59.
8. Шулаков Д.Ю. Сравнительный анализ временной динамики микросейсмической активности и деформационных процессов в калийном руднике.// Моделирование стратегии и процессов освоения георесурсов. Мат. науч. Сессии ГИ УрО РАН, Пермь, 2003. - С. 290-292.

УДК 622.83

А.С. Кузьменко

**ВТОРИЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ КОНЦЕНТРАЦИИ
ГРАВИТАЦИОННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Семинар № 3

Современное представление о природе формирования зон высокой концентрации напряжений при разработке месторождений на больших глубинах исходит из того, что основными факторами нагрузки являются гравитационная и тектоническая составляющие.

Однако, не все явления, сопровождающие процесс разработки недр, находят удовлетворительное объяснение с позиций этих представлений. Так, не вполне объяснимо возникновение в недрах и на поверхности "волн Вебера", возвратно-поступательные перемещения толщи, отмечаемые в примыкающих к зоне подработки покрывающих породах, развязка горных ударов на верхнем горизонте при отсутствии признаков действия высокого горного давления на расположенном ниже, незначительные разрушения выработок в шахтах при катастрофических разрушениях на поверхности при землетрясениях и т.д.

Ранее нами рассмотрены, применительно к условиям ведения горных работ на Кировском и Юкспорском апатитовых рудниках, ситуации развязки горных ударов и описаны механизмы, приведшие к концентрации гравитационной нагрузки на участках развязки горных ударов, а, также, доказана непричастность сил тектоники к развязке горных ударов для этих и других случаев [1].

Возникающие в процессе ведения очистных работ, простейшие механизмы, известные из курса физики разного рода рычаги и системы с малой площадью опоры и большим сосредоточенным на этой опоре весом (типа иглы), способны продуцировать на отдельных участках разрабатываемого массива весьма высокие напряжения. Подработка пород покрывающей толщи приводит к образованию консолей и балок, прогибающихся под действием собственного веса в очистное пространство и вызывающих, из-за не утраченной сплошности, поднятие определенной части еще не подработанных участков покрывающей толщи, вовлекая и их вес в нагрузку. Опорой такого рычага является весьма ограниченный по протяженности участок рудного тела, где концентрация напряжений может на порядок превышать гравитационный фон, что приводит к разрушению отдельных элементов в пределах этого участка. Последующее перемещение фронта очистных работ, при условии сохранения сплошности нагружающей конструкции, может привести к развязке горных ударов в соседних секциях, как это имело место в разрезах 13/15 гор. +252 м Кировского рудника (1982 г.), где на одном участке в течение квартала произошло пять горных ударов.

Система с постепенно уменьшающейся площадью опоры из-за стадийной отработки части опоры складывалась на Ки-

ровском руднике дважды. В первом случае клиновидное тело, возникшее из-за наличия в покрывающей толще протяженной мощной выполненной перемятыми глиноподобными породами трещины, опиралось на обрабатываемый участок при разработке руд на гор. +322 м в разрезах 12/13 (1966 г.), где под висячим боком из-за непрерывного разрушения скреперных и буровых выработок руду практически не отработали. Аналогичная система на этом же руднике привела к разрушению буровых и выработок горизонта выпуска и срезу со смещением частей обуренного рудного массива в районе разрезов 8-11 на гор. +252 м (1981 г.).

Кроме описанных выше простейших механизмов-концентраторов гравитационной составляющей, работу по разрушению выработок производят различные вертикальные консоли, отклоняющиеся в сторону очистного провала [1], когда препятствием дальнейшего их отклонения являются подпирающие вмещающую толщу рудные уступы. Подобный механизм привел к разрушению ходовой сбойки между 10б и 11 ортами, расположенной в угловой части рудного уступа по лежащему боку рудной залежи в разрезах 11/12 гор.+252 м Кировского рудника (1984 г.). Разрушение

соседних выработок в дальнейшем не произошло, так как в результате разрушения части уступа зона концентрации напряжений переместилась в не ослабленную проведением выработок вмещающую толщу.

В условиях разработки рудных тел сложной конфигурации и подработки пород покрывающей толщи, нарушенных трещинами и разломами, возможно действие на отдельные участки рудного тела сразу нескольких механизмов-концентраторов. Их совместное действие может приводить к возникновению многократной концентрации гравитационной нагрузки. Отличительная особенность действия механизмов-концентраторов - локальность зон разрушения, когда на соседних участках разрушений нет. Действие тектоники должно быть более масштабным, охватывающим все выработки в пределах блока данного ранга и не может привести к разрушению выработок только на отдельных ограниченных участках.

Данное представление о явлении концентрации напряжений открывает новые возможности по управлению горным давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьменко А.С. Механика горных пород. – М. МГУ, 2003, 242 с.

Коротко об авторах

Кузьменко Александр Сергеевич – кандидат технических наук, ОАО НПО "Физика".

**ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Р У К О П И С И ,

1. Шаймьярдянов И.К. Алгоритм расчета рамных крепей подготовительн-нарезных выработок для сложных горно-геологических условий (№ 399/07-05 — 31.03.05) 6 с.
2. Воробьев А.Н., Шаймьярдянов И.К. Общий алгоритм расчета конструкций крепей горных выработок на основе метода конечных элементов (№ 400/07-05 — 31.03.05) 5 с.

Аннотация

Вторичные механизмы концентрации гравитационных напряжений.

А. С. Кузьменко

Описаны различные типы механизмов концентрации гравитационной составляющей горного давления. Приведены примеры работы различных механизмов-концентраторов в условиях ведения горных работ на Кировском апатитовом руднике.

Сведения об авторе.

Кузьменко Александр Сергеевич, сотрудник ОАО НПО "Физика"
Адрес: 117587, Москва, Варшавский просп. 125 "ж"
Домашний адрес: 117587, Москва, Кировоградская 12, кв 76
Телефон 312-22-50

Коротко об авторах

Демонстрируется.